



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# STUDI PENGARUH VARIASI JENIS *BINDER* TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN MORFOLOGI BRIKET PASIR BESI DALAM PEMBUATAN *SPONGE IRON*

FIQRI SANUBARI EKAPUTRA  
NRP. 2713 100 092

Dosen Pembimbing  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

# **STUDI PENGARUH VARIASI JENIS *BINDER* TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN MORFOLOGI BRIKET PASIR BESI DALAM PEMBUATAN *SPONGE IRON***

Fiqri Sanubari Ekaputra  
NRP 2713 100 092

Dosen Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **STUDY ON EFFECT OF VARIATION OF BINDER ON DEGREE OF REDUCTION AND MORPHOLOGY OF IRON SAND BRIQUETTE IN THE SPONGE IRON MAKING**

**Fiqri Sanubari Ekaputra**  
**NRP 2713 100 092**

**Advisor :**  
**Sungging Pintowantoro, Ph.D**  
**Fakhreza Abdul, S.T., M.T**

**Department of Materials and Metallurgical Engineering**  
**Faculty Of Industrial Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya**  
**2017**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**STUDI PENGARUH VARIASI JENIS *BINDER* TERHADAP  
DERAJAT REDUKSI DAN MORFOLOGI BRIKET PASIR  
BESI DALAM PEMBUATAN *SPONGE IRON***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**FIQRI SANUBARI EKAPUTRA**  
NRP. 2713 100 092

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, ST.,MT., Ph.D. .... (Pembimbing I)

Fakhreza Abdul, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia, terang pikiran, kesehatan, keselamatan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Pengaruh Variasi Jenis Binder Terhadap Derajat Reduksi dan Morfologi Briket Pasir Besi Dalam Pembuatan *Sponge Iron***”. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan penulis dalam penyusunan laporan ini. Namun, penulis dapat mewujudkan laporan ini secara lengkap berkat adanya perhatian, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Dengan adanya kekurangan dan kesalahan dalam penulisan laporan ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadi evaluasi selanjutnya.

Demikian penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya khususnya bagi kemajuan di bidang pengolahan Mineral di Indonesia.

Surabaya, Juli 2017

Penulis,  
Fiqri Sanubari Ekaputra

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **STUDI PENGARUH VARIASI JENIS *BINDER* TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN MORFOLOGI BRIKET PASIR BESI DALAM PEMBUATAN *SPONGE IRON***

**Nama Mahasiswa** : Fiqri Sanubari Ekaputra  
**NRP** : 2713 100 092  
**Jurusan** : Dept. Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Sungging Pintowantoro, Ph.D  
**Co-Pembimbing** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T

## **ABSTRAK**

*Pada proses pembuatan sponge iron terlebih dahulu mineral besi menjalani proses aglomerasi untuk menjadikannya bentuk pelet atau briket memakai zat pengikat (binder). Telah banyak penelitian mengenai pengaruh binder terhadap sifat mekanik pelet maupun briket. Namun penelitian mengenai sifat metalurgis seperti derajat reduksi serta morfologi produk yang dihasilkan belum diteliti lebih jauh. Pada penelitian ini akan diteliti pengaruh variasi jenis binder terhadap derajat reduksi dan morfologi briket pasir besi. Variasi binder untuk briket yang digunakan ialah bentonit, karboksimetilselulosa (CMC), dan kalsium hidroksida. Briket tersebut akan direduksi di dalam muffle furnace dengan pre-heat hingga 950 °C selama 2 jam dan holding pada temperatur 1350 °C selama 10 jam dan cooling di dalam muffle furnace selama 6 jam. Hasil dari proses reduksi ini akan diuji derajat metalisasi dan dikarakterisasi menggunakan XRD, dan SEM-EDX. Sementara nilai derajat reduksi diperoleh lewat perhitungan. Briket berbinder CMC memiliki derajat reduksi yang tertinggi sementara yang terendah adalah binder Ca(OH)<sub>2</sub>. Morfologi yang dihasilkan briket berbinder CMC adalah berbentuk flakes, binder Ca(OH) menghasilkan morfologi menyerupai spherical dan seluruh partikel nya menyatu, kemudian binder bentonit menghasilkan morfologi berbentuk spherical.*

***Kata Kunci : Pasir Besi, Binder, Derajat Reduksi, Morfologi***

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# STUDY ON EFFECT OF VARIATION OF BINDER ON DEGREE OF REDUCTION AND MORPHOLOGY OF IRON SAND BRIQUETTE IN THE SPONGE IRON MAKING

**Name** : Fiqri Sanubari Ekaputra  
**SRN** : 2713 100 092  
**Major** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Sungging Pintowantoro, Ph.D  
**Co-Advisor** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T

## ABSTRACT

*In the sponge iron making, firstly iron ore will through agglomeration process that using binder to form it into pellet or briquette form. There are many studies about effect of binder on pellet or briquette mechanical properties but a study about effect of binder on the metallurgical properties such as degree of reduction and final product morphology have not studied yet. In this research the effect of variation of binder on reduction degree and morphology of iron sand briquette will be investigated. Binders variation which will be used in this research are carboxymethylcellulose (CMC), bentonite, and hydrated lime ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Iron sand briquette will be reduced in muffle furnace with pre-heat in  $950^\circ\text{C}$  for 2 hours and hold in temperature  $1350^\circ\text{C}$  for 10 hours and furnace cooling for 6 hours. The product from this reduction process will be tested degree of metallization and will be characterized with XRD and SEM-EDX, then reduction degree will be obtained from calculation. Briquette that use CMC binder have the highest reduction degree and the lowest is briquette that use  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  binder. Briquette with CMC binder has a flakes like morphology, briquette with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  binder has a spherical like morphology with the entire particles bind each other. And briquette with bentonite has a spherical like morphology.*

**Keywords : Ironsand, Binder, Reduction degree, Morphology**



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xx</b>

## BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Rumusan Masalah .....	4
1.3	Batasan Masalah .....	4
1.4	Tujuan Penelitian .....	5
1.5	Manfaat Penelitian .....	5

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Pasir Besi .....	7
2.2	Batubara .....	9
2.3	Batu Kapur .....	11
2.4	Bentonit .....	12
2.5	Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) .....	16
2.6	Karboksimetil Selulosa .....	18
2.7	Binder Pada Proses Aglomerasi Bijih Besi .....	21
2.8	Teknologi Pembuatan Sponge Iron dari Pasir Besi .....	23
2.9	Termodinamika Reduksi Besi .....	30
2.9.1	Termokimia Reaksi .....	30
2.9.2	Diagram Ellingham .....	31
2.9.3	Tahapan Reaksi Reduksi Pasir Besi Oleh Gas $\text{CO}$ .....	33
2.9.4	Diagram Boudouard-Gaussner .....	34
2.10	Kinetika Reduksi Besi .....	36
2.11	Reduksi Ilmenit Oleh Gas Karbon Monoksida .....	38

2.12	Sponge Iron .....	41
2.13	Penelitian Sebelumnya .....	43

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	47
3.2	Bahan Penelitian .....	48
3.2.1	Pasir Besi.....	48
3.2.2	Batubara .....	49
3.2.3	Batu Kapur .....	50
3.2.4	Air.....	50
3.2.5	LPG .....	50
3.3	Peralatan Penelitian .....	51
3.3.1	Alat Kompaksi.....	51
3.3.2	<i>Muffle Furnace</i> .....	52
3.3.3	Timbangan Digital.....	53
3.3.4	Ayakan .....	54
3.3.5	<i>Thermocouple</i> .....	54
3.3.6	<i>Blower</i> .....	55
3.3.7	<i>Oven</i> .....	55
3.3.8	Alat Tumbuk.....	56
3.3.9	Krusibel .....	56
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	57
3.4.1	Preparasi Material.....	57
3.4.2	Proses Reduksi .....	59
3.4.3	<i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i> .....	60
3.4.4	<i>X-Ray Diffraction</i> .....	61
3.4.5	<i>Scanning Electron Microscope</i> .....	62
3.4.6	<i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> .....	63
3.4.7	Derajat Reduksi .....	64
3.4.8	<i>Proximate Analysis</i> .....	64
3.4.9	Derajat Metalisasi.....	67
3.5	Rancangan Penelitian .....	69

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakterisasi Bahan Penelitian .....	71
4.1.1	Pasir Besi .....	71
4.1.2	Batubara .....	72
4.1.3	Batu Kapur (Dolomit) .....	73
4.1.4	Binder Bentonit .....	75
4.1.5	Binder Karboksimetilselulosa .....	78
4.1.6	Binder Kalsium Hidroksida.....	81
4.2	Pengaruh Jenis Binder terhadap Derajat Reduksi dan Perolehan Fe Total Briket Hasil Reduksi.....	83
4.3	Pengaruh Jenis Binder terhadap Fasa yang Terbentuk pada Briket Hasil Reduksi .....	89
4.4	Pengaruh Variasi Binder terhadap Derajat Metalisasi Briket Pasir Besi Hasil Reduksi .....	96
4.5	Pengaruh Variasi Jenis Binder terhadap Morfologi Briket Hasil Reduksi .....	98

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	109
5.2	Saran .....	109

## **DAFTAR PUSTAKA ..... xxii**

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Pasir Besi .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Ternary Sistem $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Batu Bara .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Batu Kapur.....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Bentuk Fisik Bentonit .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Mekanisme <i>platelet</i> bentonit mengikat mineral di dalam pelet .....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Kalsium Hidroksida .....	18
<b>Gambar 2.8</b>	Struktur Molekul <i>Carboxymethylcellulose</i> (Na-CMC) .....	19
<b>Gambar 2.9</b>	Tahap-tahap pembuatan CMC .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Karboksimetil Selulosa.....	20
<b>Gambar 2.11</b>	<i>Green ball growth</i> pada proses aglomerasi .....	22
<b>Gambar 2.12</b>	Skema Pengolahan Pasir Besi di <i>New Zealand</i> .	24
<b>Gambar 2.13</b>	Skema proses pembuatan <i>sponge iron</i> dengan <i>Hoganas Tunnel Kiln</i> .....	25
<b>Gambar 2.14</b>	<i>Tunnel Kiln Pilot Plant</i> .....	28
<b>Gambar 2.15</b>	Skematik <i>Tunnel Kiln</i> dalam proses Hoganas ...	28
<b>Gambar 2.16</b>	Susunan Sagger pada kereta dalam Hoganas <i>Tunnel Kiln</i> .....	29
<b>Gambar 2.17</b>	Sagger Keramik Silikon Karbida ( $\text{SiC}$ ) .....	29
<b>Gambar 2.18</b>	Susunan bahan baku pada penampang horizontal sagger.....	30
<b>Gambar 2.19</b>	Diagram Ellingham untuk oksida logam .....	33
<b>Gambar 2.20</b>	Diagram Ellingham untuk reduksi besi oksida .	34
<b>Gambar 2.21</b>	Diagram Gaussner-Boudouard .....	36
<b>Gambar 2.22</b>	Mekanisme Reduksi langsung pelet berpori .....	38
<b>Gambar 2.23</b>	Komposisi gas $\text{CO/CO}_2$ pada kondisi ekuilibrium dengan karbon dan ilmenit sebagai fungsi dari temperatur.....	40
<b>Gambar 2.24</b>	Produk <i>Sponge Iron</i> pada umumnya.....	42
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	47
<b>Gambar 3.2</b>	Pasir Besi .....	49

<b>Gambar 3.3</b>	Batubara .....	49
<b>Gambar 3.4</b>	Batu Kapur .....	50
<b>Gambar 3.5</b>	LPG .....	51
<b>Gambar 3.6</b>	Variasi Binder (A) Bentonit, (B) CMC, (C) Ca(OH) <sub>2</sub> .....	51
<b>Gambar 3.7</b>	Alat Kompaksi .....	52
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Muffle Furnace</i> .....	53
<b>Gambar 3.9</b>	Timbangan Digital .....	53
<b>Gambar 3.10</b>	Ayakan .....	54
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Thermocouple</i> .....	54
<b>Gambar 3.12</b>	Blower.....	55
<b>Gambar 3.13</b>	Oven .....	55
<b>Gambar 3.14</b>	Alat Tumbuk .....	56
<b>Gambar 3.15</b>	Krusibel.....	57
<b>Gambar 3.16</b>	Briket <i>Pillow</i> Pasir Besi.....	58
<b>Gambar 3.17</b>	Susunan Briket dan <i>Reduction Mix</i> .....	59
<b>Gambar 3.18</b>	Susunan Peralatan 1) gas LPG, 2) blower, 3) pipa Burner, 4) <i>muffle gas furnace</i> , 5) <i>Thermocouple</i> .....	59
<b>Gambar 3.19</b>	<i>Olympus Delta Premium Handled XRF Analyzers</i> .....	61
<b>Gambar 3.20</b>	XRD <i>PAN Analytical</i> .....	62
<b>Gambar 3.21</b>	SEM-EDX.....	63
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Analisa XRD Pasir Besi Sukabumi.....	72
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Batu Kapur .....	74
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Hasil Uji XRD Binder Bentonit .....	77
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Hasil Uji XRD Binder CMC .....	80
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Hasil Uji XRD Binder Ca(OH) <sub>2</sub> .....	82
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh Jenis Binder terhadap Kadar Fe Total	84
<b>Gambar 4.7</b>	Pengaruh Binder terhadap Peningkatan Kadar Fe .....	85
<b>Gambar 4.8</b>	Pengaruh Binder Terhadap Derajat Reduksi Briket .....	86
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik Hasil Uji XRD pada Briket Hasil Reduksi dengan Variasi Jenis Binder .....	89

<b>Gambar 4.10</b>	Pengaruh Variasi Binder Terhadap Derajat Metalisasi.....	97
<b>Gambar 4.11</b>	Morfologi Area Metalik pada Briket Hasil Reduksi: a) Briket Bentonit, b) Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji .....	99
<b>Gambar 4.12</b>	Morfologi Area Berpori Briket Hasil Reduksi (Perbesaran 250x): a) Briket Bentonit, b) Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji .....	101
<b>Gambar 4.13</b>	Morfologi Permukaan Partikel pada daerah Berpori (Perbesaran 3000x): a) Briket Bentonit, b) Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji .....	105



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kategori Batubara dan Nilai Kalori .....	11
<b>Tabel 2.2</b>	Komposisi Bentonit .....	15
<b>Tabel 2.3</b>	Sifat Fisik dan Metalurgi Pelet Bijih Besi dengan Binder CMC Peridur XC-3 .....	21
<b>Tabel 2.4</b>	Konsumsi <i>Raw Material</i> dan Energi per Ton <i>Sponge iron</i> .....	27
<b>Tabel 2.5</b>	Tipikal Komposisi Kmia Hognas <i>Sponge Iron</i> ...	27
<b>Tabel 2.6</b>	Perbandingan Reduksi Ilmenit Menggunakan Dua Metode .....	41
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian EDX Konsentrat Pasir Besi .....	71
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara .....	73
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian XRF Batu Kapur.....	75
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian EDX Bentonit .....	76
<b>Tabel 4.5</b>	Senyawa Teridentifikasi Pada Bentonit .....	78
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Pengujian EDX CMC Teknis .....	79
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Pengujian EDX Kalsium Hidroksida Teknis	81
<b>Tabel 4.8</b>	Senyawa Teridentifikasi pada Binder $\text{Ca(OH)}_2$ .....	82
<b>Tabel 4.9</b>	Komposisi Unsur pada Briket Hasil Reduksi .....	84
<b>Tabel 4.10</b>	Pengaruh Variasi Binder terhadap Derajat Reduksi	86
<b>Tabel 4.11</b>	Fasa Teridentifikasi pada Briket Hasil Reduksi.....	90
<b>Tabel 4.12</b>	Pengaruh Binder terhadap Derajat Metalisasi Briket .....	96
<b>Tabel 4.13</b>	Kadar Unsur pada Area Metalik Briket Kanji .....	99
<b>Tabel 4.14</b>	Kadar Unsur pada Area Metalik Briket CMC .....	99
<b>Tabel 4.15</b>	Kadar Unsur pada Area Metalik Briket Bentonit.	100
<b>Tabel 4.16</b>	Kadar Unsur pada Area Metalik Briket $\text{Ca(OH)}_2$	100
<b>Tabel 4.17</b>	Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket Bentonit .....	102

<b>Tabel 4.18</b>	Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	102
<b>Tabel 4.19</b>	Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket CMC...	103
<b>Tabel 4.20</b>	Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket Kanji...	104
<b>Tabel 4.21</b>	Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket Kanji.	106
<b>Tabel 4.22</b>	Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket Bentonit .....	106
<b>Tabel 4.23</b>	Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .....	106
<b>Tabel 4.24</b>	Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket CMC.	107



---

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Baja merupakan salah satu material teknik yang paling banyak digunakan di dunia terutama dalam bidang konstruksi dan industri otomotif. Tingkat konsumsi baja per kapita merupakan indikator yang menunjukkan tingkat kemajuan ekonomi suatu negara. Semakin tinggi tingkat konsumsi baja perkapita suatu negara maka dapat dikatakan bahwa negara tersebut merupakan negara yang maju.

Saat ini konsumsi perkapita Indonesia dalam pemakaian produk logam baru mencapai 52 Kg/ kapita, jauh tertinggal dari Negara-negara ASEAN lainnya. Sebagai pembandingan konsumsi beberapa Negara ASEAN adalah sebagai berikut : Malaysia 330 kg, Thailand 253 kg, Vietnam 132 kg dan Filipina 70 kg (SEAISI, 2013). *Indonesian Iron and Steel Industry Asosiasi (IISIA)* pada tahun 2015 memperkirakan pada tahun 2020 kebutuhan baja Indonesia akan meningkat menjadi sekitar 27 Juta Ton, dalam keppres no 28 tahun 2008 tentang kebijakan industri nasional ditargetkan pasokan baja mencapai 20 juta ton di tahun 2020. Hal ini diperburuk lagi dengan fakta bahwa dari konsumsi baja sebesar 52 GDP per kapita tersebut, sekitar 66% impor dari luar negeri. Hanya 44% produsen dalam negeri dapat memenuhi kebutuhan baja nasional di tahun 2013 tersebut. Hal ini kontras sekali melihat ketersediaan cadangan besi Indonesia yang sangat melimpah. Data yang dikutip dari pusat sumber daya geologi tahun 2012 menyebutkan bahwa Indonesia memiliki potensi sumber daya pasir besi dan bijih besi yang tergolong melimpah dengan jumlah deposit berupa sumberdaya dan cadangan sekitar 5110 juta ton.

Dari fakta diatas, dengan didukung dengan masih melimpahnya cadangan mineral mengandung unsur besi di Indonesia maka dibutuhkan suatu strategi dimana dapat mensinergikan produksi besi baja dari hulu ke hilir. Yaitu pada



pengolahan *iron ore concentrate*, *iron sand concentrate*, *hot briquette iron*, *pig iron*, *Direct Reduction Iron*, dsb.

Pasir besi memiliki deposit yang sangat besar yaitu sekitar 2.121 juta ton yang tersebar di D.I Yogyakarta, Maluku Utara, Jawa, dan Papua. Penelitian untuk mengolah pasir besi menjadi produk besi yang lebih bernilai sangat penting dilakukan mengingat besarnya potensi pasir besi di Indonesia dibandingkan potensi bijih besi primer magnetit-hematit yang hanya berkisar 881,8 juta ton (Kemenperin RI, 2014). Pasir besi merupakan pasir dengan konsentrasi besi yang signifikan. Pasir ini terdiri dari magnetit, hematit dan juga mengandung sejumlah kecil titanium, silika, mangan, kalsium dan vanadium. Pasir besi Indonesia kebanyakan berupa Ilmenit yang memiliki kandungan Titanium yang cukup tinggi. Dengan adanya unsur ini, dibutuhkan suatu proses untuk meningkatkan kadar besi dalam konsentrat pasir besi. Salah satu teknologi yang digunakan adalah *Direct Reduction Iron (DRI)* yaitu teknologi untuk meningkatkan kadar besi dengan mereduksi bijih maupun pasir besi dibawah titik leleh besi yang menghasilkan produk bernama *Sponge Iron*. New Zealand adalah negara yang telah berhasil mengolah pasir besi menjadi *sponge iron* dengan teknologi *rotary kiln* berkapasitas 600.000 ton. Selain *rotary kiln* terdapat teknologi lain yang berpotensi diterapkan untuk mengolah pasir besi menjadi *sponge iron* yaitu *tunnel kiln*. India dan Cina merupakan negara yang telah menerapkan teknologi *tunnel kiln* untuk mengolah bijih besinya menjadi *sponge iron* dengan metalisasi 90%. Teknologi *tunnel kiln* dinilai lebih ekonomis karena biaya pembangunannya hanya sekitar setengah dari biaya pembuatan *rotary kiln* konvensional.

*Sponge Iron* dibuat dengan mereduksi oksigen dari bijih besi. Sebelum menjalani proses reduksi, campuran bijih besi, batu bara, dan fluks menjalani proses aglomerasi, proses tersebut terbagi menjadi dua jenis yaitu peletisasi dan briketing. Dalam proses aglomerasi tersebut digunakan zat perekat yang biasa disebut *Binder* yang berfungsi untuk mengikat campuran bijih besi, batu bara, dan fluks sehingga menyatu dalam struktur yang utuh,



hal tersebut diperlukan agar memudahkan dalam proses *handling* dan memperoleh sifat-sifat metalurgis yang diinginkan. Bentonit adalah *binder* yang paling banyak digunakan pada proses peletisasi bijih besi. Bentonit memberikan sifat fisik, mekanik dan metalurgis yang cukup baik, akan tetapi bentonit mengandung unsur pengotor yang bersifat asam ( $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang jadi pertimbangan mengenai impuritas unsur kimia khususnya untuk konsentrat yang memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi (Srivikaya dan Arol, 2014). Oksida asam tersebut berdampak buruk bagi keekonomian pembuatan besi dan baja. sebagai contoh, penambahan 1% bentonit yang mengandung 85%  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ , menurunkan konten besi pada pelet sebesar 0,6-0,7 wt (de Souza dkk.,1984, Kater dan Steeghs,1984). Peningkatan konten silika dapat menyebabkan biaya produksi meningkat pada pembuatan baja (Chizhikova dkk., 2003, Scmitt, 2005). Pada kasus pelet DRI, setiap persen peningkatan impuritas asam menyebabkan peningkatan konsumsi energi sebesar 30 kWh/ton (Heerema dkk, 1989).

Masalah tersebut membuat para peneliti mencari ataupun membuat *binder* yang tidak mengandung silika sehingga tidak mengkontaminasi produk akhir pelet. Oleh karena itu *binder* alternatif telah banyak diuji coba dalam beberapa tahun ini. *Binder* organik cukup menarik perhatian peneliti karena menunjukkan sifat pengikat yang baik dan tidak mengkontaminasi produk pelet (Elsele dan Kawatra, 2003, Sivrikaya, 2011). Berbagai penelitian penggunaan *binder* organik sebagai *binder* alternatif dari bentonite telah banyak dilakukan. Hasilnya binder organik menunjukkan hasil yang baik pada *wet and dry pellet strength* namun kelemahannya adalah beberapa organik binder memiliki temperatur bakar yang rendah ( $<250^\circ \text{C}$ ) sehingga tidak bisa mengikat campuran pelet pada temperatur yang lebih tinggi. Eksperimen mengenai kekuatan pelet maupun briket bijih besi berbinder organik dan inorganik telah banyak dilakukan, namun pengaruh binder terhadap sifat metalurgis seperti derajat reduksi serta morfologi produk akhir yang dihasilkan masih belum dieksplorasi lebih jauh.



Pada percobaan ini, akan diinvestigasi bagaimana pengaruh penggunaan binder pada briket pasir besi terhadap derajat reduksi dan morfologinya ketika briket tersebut direduksi pada temperatur tinggi untuk membuatnya menjadi *sponge iron*. Variasi binder yang digunakan adalah Karboksimetilselulosa (CMC), Bentonit, dan Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis *binder* sebagai agen perekat briket terhadap derajat reduksi pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis *binder* sebagai agen perekat briket terhadap morfologi pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain :

1. Pasir Besi berasal dari daerah Sukabumi, Jawa barat.
2. Jenis dan komposisi pasir besi, batu bara, fluks batu kapur serta *binder* (Kanji, CMC, Bentonit, dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang digunakan diasumsikan homogen.
3. Batu bara yang digunakan berupa jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan.
4. Tekanan kompaksi yang diberikan dianggap homogen.
5. Permeabilitas dan porositas pasir besi diasumsikan homogen.
6. Energi panas yang digunakan pada proses reduksi berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.
7. Temperatur operasi reduksi diasumsikan sama.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :



1. Menganalisis pengaruh variasi jenis *binder* yang digunakan pada proses pembriketan pasir besi terhadap derajat reduksi pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace*.
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis *binder* yang digunakan pada proses pembriketan pasir besi terhadap morfologi yang terbentuk pada produk hasil reduksi briket pasir besi menggunakan *muffle furnace*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi empiris mengenai pengaruh penggunaan variasi *binder* sebagai agen perekat briket pasir besi terhadap derajat reduksi dan morfologi yang dihasilkan sehingga dapat diketahui binder apa yang memberikan sifat metalurgis yang baik terhadap briket pasir besi sehingga dapat tereduksi menjadi *sponge iron* yang memiliki kadar besi metal yang tinggi.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pasir Besi

Pasir besi adalah mineral endapan / sedimen yang memiliki ukuran butir 0,074 – 0,075 mm, dengan ukuran kasar (5 – 3 mm) dan halus (< 1 mm). Perbedaan karakter fisik kandungan mineral pasir seperti Fe, Ti, Mg, dan Si mungkin terjadi disebabkan oleh perbedaan lokasi endapan. Mineral magnetik yang biasanya ditemukan di daerah pantai atau sungai adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Senyawa magnetit ini berasal dari senyawa variannya yaitu titanomagnetit ( $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ) (Sunaryo dan Widyawidura, 2010). Senyawa besi oksida ditemukan dalam dua fase di dalam pasir besi yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki interaksi yang lebih lemah di dalam medan magnet dibandingkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Pasir besi ini lebih dimanfaatkan dalam bidang *material science* dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi dan ramah lingkungan (Sunaryo dan Widyawidura, 2010).

Pasir besi merupakan agregat yang mempunyai masa jenis tinggi sekitar 4,2 – 5,2. Pasir besi umumnya terdiri dari mineral *opaque* yang bercampur dengan butiran-butiran nonlogam seperti seperti kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmalin. Mineral tersebut terdiri atas magnetit, titaniferous magnetit, ilmenit, limonit, dan hematite. Kandungan besi yang terdapat pada endapan pasir besi utama adalah mineral tetanomagnetik dengan komposisi Fe 60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3,3 %,  $\text{SiO}_2$  0,26%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,55%,  $\text{TiO}_2$  9,2%, MgO 0,6%.

Secara umum, mineral dalam pasir besi terdiri dari dua kompoen dibedakan atas dasar sifat magnetiknya yaitu mineral magnetik dan mineral non magnetik. Oksida besi-titanium ( $\text{Fe}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$ ) adalah senyawa magnetik yang cukup dominan selain oksida besi lainnya. Kumpulan senyawa oksida besi-titanium ini terdiri dari mineral-mineral yang memenuhi diagram segitiga (*ternery diagram*) dengan anggota-anggota tepi (*end members*)

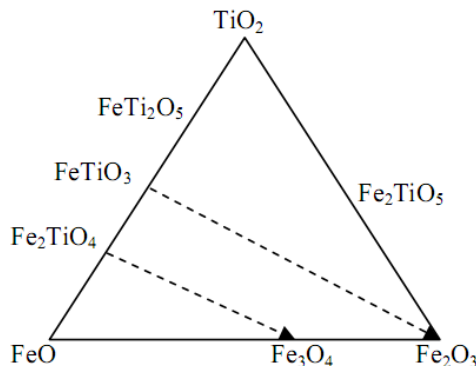


terdiri dari  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Secara alamiah keberadaan mineral besi oksida dalam pasir besi bercampur dengan berbagai mineral lainnya.



**Gambar 2.1** Pasir Besi

Pasir besi merupakan mineral yang banyak mengandung senyawa besi oksida, misalnya magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan mineral lain seperti alumina, silika dalam jumlah sedikit, dengan variasi kandungan di lokasi yang berbeda (Zulfalina dkk, 2004).



**Gambar 2.2** Diagram *Ternary* Sistem  $\text{FeO}$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$   
(Anggraeni, 2008)



Gambar 2.2 menjelaskan berbagai komposisi kimia dari mineral-mineral oksida yang hampir selalu menjadi perhatian dalam mempelajari sifat kemagnetbatuan, yaitu FeO (Wustit), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Magnetit),  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (maghemit),  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematit), FeTiO<sub>3</sub> (ilmenit), Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (ulvospinel), Fe<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> (*pseudobrookite*), dan FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (*ilmeno-rutile*). Diagram fasa tersebut juga memuat informasi mengenai tiga deret sistem, yaitu titanomagnetite, titanohematite, dan *pseudobrookite*. Pada deret tersebut juga dapat ditambahkan deret titanomaghemit yang diperoleh dengan oksidasi titanomagnetit pada temperatur dibawah 300<sup>0</sup> C. Dari keempat deret oksida besi titanium tersebut, yang membawa sifat magnetik paling menonjol adalah titanomagnetit.

## 2.2 Batu Bara

Batubara adalah bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen yang dipengaruhi oleh panas dan tekanan yang berlangsung lama di alam dengan komposisi yang kompleks. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti C<sub>137</sub>H<sub>97</sub>O<sub>9</sub>NS untuk bituminus dan C<sub>240</sub>H<sub>90</sub>O<sub>4</sub>NS untuk antrasit. Konsumsi partikel batubara dalam produksi DRI tergantung pada stoikiometri reaksi, kadar *fixed carbon*, dan hilangnya *fixed carbon*. Diperkirakan biaya batubara mencapai 75% dari biaya pembuatan DRI dalam *rotary kiln*. Kualitas batubara sangat berpengaruh dalam seluruh biaya produksi *sponge iron*. Untuk itu pemilihan batubara sebagai bahan bakar harus teliti. pemilihan batubara sebagai bahan bakar untuk pemanasan dan reduktor, terdapat beberapa karakteristik yang harus dipenuhi, diantaranya (Ashid, 2014):

- (i) *Proxymate analysis*
- (ii) *Ash fusion temperature*
- (iii) Kadar sulfur
- (iv) *Caking and Swelling index*
- (v) Nilai Kalor



**Gambar 2.3** Batu Bara (*id.wikipedia.org*)

Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon seperti pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Kategori Batu Bara dan Nilai kalori (Pelletier, 1984)

No	Kategori	H <sub>2</sub> O (%)	C (%)	Nilai Kalori (kcal/kg)
1	Lignite	43,4	37,8	4,113
2	Sub-bituminous	23,4	42,4	5,403
3	Low Volatile Sub-bituminous	11,6	47	7,159
4	Medium Volatile Sub-bituminous	5	54,2	7,715
5	High Volatile Sub-bituminous	3,2	64,6	8,427
6	Sub-antrachite	6	83,8	8,271
7	Anthracite	3,2	95,6	8,027

Komponen pembentuk batu bara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari : (Moisture = M), abu (Ash = A), materi mudah menguap (Volatile Matter = VM), karbon tertambat (Fixed



Carbon = FC). Komponen volatile adalah kandungan yang mudah menguap kecuali moisture. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (pirolisis), umumnya adalah senyawa-senyawa organik, gas CO<sub>2</sub>, dan gas SO<sub>2</sub> yang terdapat pada batubara. Penentuan volatile content dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 900 – 950<sup>0</sup> C selama 7 menit. Karbon tertambat adalah jumlah karbon yang terdapat di batubara. Penentuan karbon tertambat dengan cara mengurangi jumlah material mudah menguap dan kandungan abu pada kondisi udara kering (Faris, 2015).

### 2.3 Batu Kapur

Salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui adalah batu kapur. *Limestone* merupakan istilah yang digunakan untuk batuan karbonat atau fosil yang terbentuk secara pokok terdiri dari kalsium karbonat dengan variasi sejumlah impuritas seperti silica dan alumina. Sedangkan *lime* tidak terlalu bervariasi dibandingkan *limestone*, *lime* merupakan hasil kalsinasi atau pembakaran batuan *limestone*. Proses kalsinasi memaksa keluar karbon dioksida dari batuan untuk membentuk kalsium oksida (Bonyton, 1980).



**Gambar 2.4** Batu Kapur (*blogs.uajy.ac.id*)

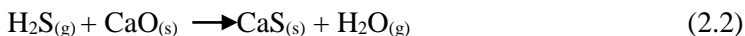


Batu kapur ditemukan secara alami dalam mineral dengan bentuk polimorf. Polimorf merupakan sebuah mineral dengan rumus kimia yang sama tetapi memiliki struktur kristal yang berbeda. Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) memiliki tiga macam bentuk polimorf, yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit dengan struktur kristal berturut-turut rombohedral, heksagonal, dan ortorombik. Ketiga struktur tersebut kalsit memiliki fasa paling stabil (Maciewsky, 1993).

Beberapa contoh mineral batu kapur (Bonyton, 1980) antara lain: Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ , rombohedral), Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ , ortorombik), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , Rombokubik), Magnesit ( $\text{MgCO}_3$ , rombohedral). Dalam penelitian ini jenis batu kapur yang digunakan adalah dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), batu kapur dalam proses reduksi berperan dalam menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi pembentukan gas CO (reaksi Boudouard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dengan reaksi dekomposisi dolomit pada persamaan reaksi (2.1)



Selain itu batu kapur berperan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor. Batu kapur dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara melalui reaksi (2.2) pada rentang temperatur 870 hingga 1037<sup>0</sup> C (Spencer, 1985).



## 2.4 Bentonit

Bentonit adalah *clay* yang sebagian besar terdiri dari montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspar, dan mineral lainnya. Montmorillonit merupakan bagian dari kelompok *smectit* dengan komposisi kimia secara umum  $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Bentonit berbeda dari clay lainnya karena hampir seluruhnya (75%) merupakan mineral montmorillonit. Terdiri dari partikel yang sangat kecil sehingga hanya dapat diketahui melalui studi



menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Berdasarkan kandungan aluminosilikat hidrat yang terdapat dalam bentonit, maka bentonit tersebut dapat dibagi menjadi dua golongan :

1. *Fuller's earth*, merupakan lempung yang mempunyai sifat daya serap terhadap zat warna pada minyak, lemak dan pelumas.
2. *Activated clay*, merupakan lempung yang mempunyai daya pemucatan yang rendah

Berdasarkan tipenya, bentonit dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Ca-bentonit  
Tipe bentonit ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, tetapi secara alami setelah diaktifkan mempunyai sifat menghisap yang baik. Suspensi koloidal mempunyai pH: 4-7. Dalam keadaan kering berwarna abu-abu, biru, kuning, merah, coklat.
2. Na-bentonit  
Na bentonit memiliki daya mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam keadaan kering berwarna putih atau krem, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Suspensi koloidal mempunyai pH: 8,5-9,8.

Na-bentonit dimanfaatkan sebagai bahan perekat, pengisi, lumpur bor, sesuai sifatnya mampu membentuk suspensi koloidal setelah bercampur dengan air. Sedangkan Ca-bentonit banyak dipakai sebagai bahan penyerap. Dengan penambahan zat kimia pada kondisi tertentu, Ca-bentonit dapat dimanfaatkan sebagai bahan lumpur bor setelah melalui pertukaran ion, sehingga terjadi perubahan menjadi Na-bentonit dan diharapkan menjadi peningkatan sifat reologi dari suspensi mineral tersebut (Tekmira ESDM, 2015)

Dalam keadaan kering bentonit mempunyai sifat fisik berupa partikel butiran yang halus berbentuk rekahan-rekahan





atau serpihan yang khas seperti tekstur pecah kaca (*concoidal fracture*), kilap lilin, lunak, plastis, berwarna kuning muda hingga abu-abu, bila lapuk berwarna coklat kekuningan, kuning merah atau coklat, bila diraba terasa licin, dan bila dimasukkan ke dalam air akan menghisap air. Bentuk fisik dari bentonit diperlihatkan pada Gambar 2.12



**Gambar 2.5** Bentuk Fisik Bentonit (*bentonit-na-studny.cz*)

Sifat fisik lainnya berupa massa jenis 2,2-2,8 g/L; indeks bias 1,547-1,557; dan titik lebur 1330-1430<sup>0</sup> C. Bentonit termasuk mineral yang memiliki gugus aluminosilikat. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bentonit diperlihatkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Komposisi Bentonit (Tekmira ESDM, 2005)

Komposisi kimia	Na-Bentonit (%)	Ca-Bentonit (%)
SiO <sub>2</sub>	61,3-61,4	62,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,8	17,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	5,30
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,30
Na <sub>2</sub> O	2,2	0,50
K <sub>2</sub> O	0,4	0,55
H <sub>2</sub> O	7,2	7,22

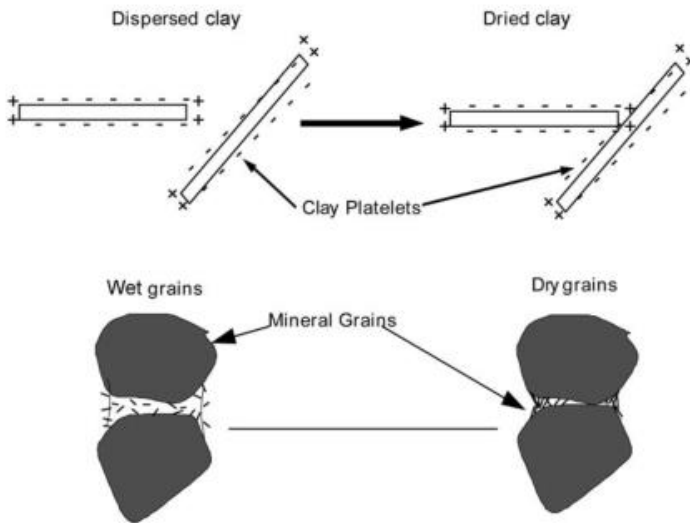


Bentonit merupakan silikat yang memiliki temperatur leleh yang rendah (Grim, 1978). Fasa likuid (mengacu pada bentonit) membasahi partikel-partikel, membungkus dan kwarsa yang meleleh, dan menarik partikel-partikel dan meningkatkan densitas pelet. Fasa liquid berperan sebagai media difusi, yang membantu proses sintering butiran oksida besi di dalam pelet. Saat pendinginan, fasa likuid tersebut menambahkan ikatan solid (Halt dan Kawatra, 2013).

Ketika dicampur dengan air, hidrasi kation yang mudah bertukar (biasanya  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$ ) menyebabkan mineral bentonit mengembang. Kemampuan mineral montmorillonit ditentukan dari tipe kation yang mudah bertukarnya. Ion kalsium mempunyai muatan lebih besar dan diameternya lebih kecil dari natrium, hasilnya ion kalsium lebih reaktif dengan piringan - piringan aluminosilikat, yang membuatnya lebih sulit terhidrasi. Efek mengembang ini memiliki dua efek dalam peletisasi bijih besi (Eisele dan Kawatra, 2010):

1. Pertama, mineral bentonit menyerap air, hasilnya konten uap air dapat dikontrol pada produk akhir pelet. Selain itu efek tersebut menyebabkan viskositas fluida antar butir mineral meningkat sehingga akan bulat sempurna.
2. Kedua, *clay* yang terekspansi sangat mudah menyebar melewati bijih besi ketika pencampuran, selama pengeringan, *clay* mengikat butiran mineral satu sama lain, memberikan *dry strength* yang baik pada pelet. Efek ini digambarkan pada Gambar 2.6

Selama sintering untuk memproduksi produk final pelet yang memiliki kekuatan yang tinggi, natrium dan kalsium pada bentonit bertindak sebagai *fluxing agents*, mengurangi temperatur leleh beberapa mineral didalam pelet. Hal ini membuat beberapa bagian pelet meleleh sebelum temperatur sintering tercapai.



**Gambar 2.6** Mekanisme *platelet* bentonit mengikat mineral di dalam pelet (Eisele dan Kawatra, 2010).

Bentonit merupakan binder inorganik yang paling umum digunakan pada industri peletisasi bijih besi. Akan tetapi pemakaian bentonit dipertimbangkan karena impuritas kimianya yaitu impuritas asam yaitu silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang dapat mengkontaminasi produk akhir pelet (Srivikaya dan Arol, 2014). Penambahan 1% bentonit pada konsentrat bijih besi menghasilkan menurunnya konten besi pada pelet sebanyak 0,6 % (de Souza dkk, 1984). Dalam kasus pelet besi reduksi langsung, setiap persen penambahan *acid gangue* dapat meningkatkan konsumsi energi sebesar 30 kWh (Heerema dkk, 1989).

## 2.5 Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

Kalsium hidroksida adalah senyawa kimia dengan rumus kimia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Kalsium hidroksida juga dinamakan *slaked lime* atau *hydrated lime* (kapur yang dilarutkan dalam air). Kalsium



hidroksida dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) dengan air. Kalsium hidroksida berupa bubuk putih. Larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  disebut air kapur dan merupakan basa dengan kekuatan sedang. Larutan tersebut bereaksi hebat dengan berbagai asam, dan bereaksi dengan banyak logam dengan adanya air. Larutan tersebut menjadi keruh bila dilewatkan karbon dioksida, karena mengendapnya kalsium karbonat (Halstead dan Moore, 1957).

Kalsium hidroksida merupakan material *cementious* yang mengeras ketika dicampur dengan air dan dibiarkan mengering. Kalsium hidroksida sukses digunakan sebagai binder dalam beberapa kasus dan telah dilaporkan bahwa performa dari pelet telah meningkat. Akan tetapi, penggunaan binder kalsium hidroksida memerlukan kontrol presisi pada sifat fisik dari konsentrat dan prosedur pabrik yang sangat ketat (Marius, 2012).



**Gambar 2.7** Kalsium Hidroksida (*sodimate-inc.com*)

Kalsium hidroksida berperan sebagai binder juga *basic additive*. Selama indurasi pelet, *basic additive* bereaksi pertama kali dengan unsur-unsur “*acid gangue*” untuk membentuk matriks netral diantara butir bijih besi. karena itu, kalsium hidroksida mempunyai beberapa keuntungan dibanding bentonit, yang mana menambah *gangue* pada campuran pelet. Selama proses pencampuran, kalsium hidroksida secara signifikan

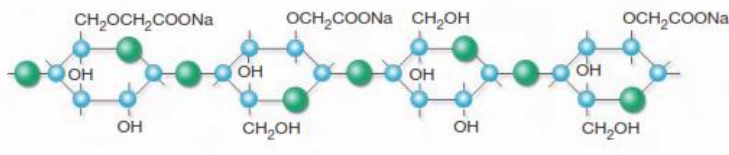


meningkatkan area permukaan spesifik pada campuran bijih besi. Hal tersebut berkontribusi dalam meningkatnya *wet green ball* dan *dried fired pellet strenght* (Jessica dkk, 2006)

Kalsium hidroksida telah digunakan sebagai binder untuk *fluxed pellet* di beberapa pabrik pada sekitar tahun 1990, termasuk Algarrobo di Cili dan fabrica maupun CVRD di Brasil (Bleifuss dan Getzrnan, 1991). Produk yang dihasilkan dari penggunaan kalsium hidroksida secara teknis layak untuk memproduksi *fluxed pellet* yang mempunyai sifat fisik dan metalurgis yang dapat diterima. Subtitusi oleh kalsium hidroksida secara signifikan menurunkan kebutuhan energi total untuk proses, sehingga menghemat biaya (Mendes, 2012). Sebuah studi membandingkan bentonit dengan kalsium hidroksida sebagai binder untuk membuat *fluxed pellet* dari bijih hematit. *Green balls* yang diproduksi menggunakan kalsium hidroksida sebagai binder mempunyai *drop strength* yang serupa dengan bentonit dan *compressive strength* serta *thermal shock resitance*, yang didapat dengan dosis yang lebih tinggi dari dosis bentonit. Akan tetapi, dosis yang lebih tinggi dari kalsium hidroksida tidak terlalu mempengaruhi pembakaran *fluxed pellet*, karena batu kapur yang dibutuhkan lebih sedikit (Liming Lu, 2015)

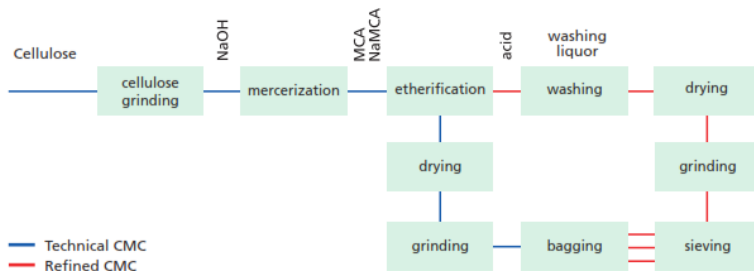
## 2.6 Karboksimetil Selulosa

Karboksimetil selulosa (CMC) merupakan salah satu turunan selulosa yang cukup penting dalam dunia industri. CMC dapat dibuat dengan menggunakan bahan baku yang umumnya berasal dari kayu dan kapas. Perbedaan asal bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan CMC dapat mempengaruhi kemurnian hasil (Awalludin dkk, 2004). CMC mempunyai rantai linear yang panjang, larut dalam air, polisakarida anionik didapat dari selulosa (Bono, dkk., 2009). Sebagai tambahan, selulosa murni berwarna putih bersih, tidak berasa, dan tidak berbau, dan bersifat *free flowing powder* (Keller, 1986).



**Gambar 2.8** Struktur Molekul *Carboxymethylcellulose* (Na-CMC) (CP Kelco, 2009)

CMC memiliki banyak sifat yang menarik ketika terlarut pada larutan *aqueous*, tetapi hal tersebut ditentukan oleh grade dan kondisi larutan. CMC diproduksi dari selulosa dan asammonokloracetik (MCA) dan dengan natrium hidroksida (NaOH) sebagai komposisi esensial yang ketiga. Perbedaan tahap dideskripsikan pada diagram alir dibawah.



**Gambar 2.9** Tahap-tahap pembuatan CMC (CP Kelco, 2009)

Metode untuk melarutkan CMC dan peningkatan pengadukan ketika pelarutan akan mempengaruhi viskositas akhir dari larutan. Prinsip dari melarutkan CMC adalah dengan membasahi seluruh permukaan partikel CMC secepat mungkin sebelum viskositas meningkat. CMC bersifat hidrofilik yang berarti partikel CMC akan secara instan terhidrasi dan terlarut ketika terdispersi di dalam air. CMC memperlihatkan kelarutan di air panas dan air dingin. Kelarutan meningkat seiring naiknya



temperatur karena viskositas CMC lebih rendah pada temperatur tinggi. Tingkat kelarutan molekul CMC ditentukan oleh temperatur. Temperatur yang direkomendasikan untuk mempersiapkan larutan CMC adalah 50-60<sup>0</sup> C. Kelarutan CMC ditentukan juga oleh ukuran partikel. (CP Kelco, 2009).



**Gambar 2.10** Karboksimetil Selulosa  
(*pustakapanganku.blogspot.com*)

Telah banyak penelitian yang menunjukkan bahwa karboksimetil selulosa efektif dalam mengikat pelet bijih besi (Goetzman 1988; Haas 1989; Martinovic 1989; Steeghs 1989; de Souza 1984; de Moraes 2008; Sastry 1985; Kortmann 1987; Roorda 1975). Pelet berkualitas baik telah diproduksi baik dalam skala laboratorium dan menggunakan alat-alat industri. Sifat fisik dan metalurgi yang didapat dari peneltian tersebut ditampilkan pada Tabel 2.3 Dibawah.

Secara umum, saat menggunakan binder CMC, pelet berkualitas baik dapat dibuat dengan mengurangi dosis CMC secara signifikan jika dibandingkan dengan bentonit. Jumlah CMC untuk aglomerasi yang sukses hanyalah 5-15 persen dari berat konsumsi bentonit (de Souza dkk, 1984). Karena kecilnya dosis yang digunakan, beberapa menyatakan bahwa binder organik terdispersi secara sempurna melewati konsentrat, hal ini mungkin sulit terjadi dengan jumlah binder yang sedikit. Akan



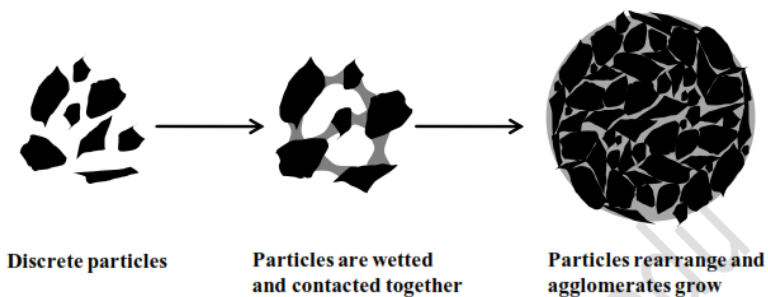
tetapi, dua studi optikal menunjukkan *non-uniform* dispersi binder (dari pekat *mixing*) masih menunjukkan hasil kualitas pelet yang dapat diterima (de Souza, Mendonca, dkk., 1984; Ranade, Ricketts, dkk., 1986)

**Tabel 2.3** Sifat Fisik dan Metalurgi Pelet Bijih Besi dengan Binder CMC Peridur XC-3 (Steeghts, 1984)

Test	Result
Tumble Index (ASTM E279)	+90% . 6.3 mm
Compression Strength (ISO 4700)	450 – 675 lbs/pel
Porosity (%)	25-26
Reduction (ISO 4695)	0.7-0.11

## 2.7 Binder Pada Proses Aglomerasi Bijih Besi

Proses aglomerasi menggabungkan partikel-partikel kecil menjadi agregat yang lebih besar, dimana setiap individu partikel masih terlihat (Ennis dan Lister, 1997). Selama proses aglomerasi bijih besi, hampir semua konsentrat bijih besi dan material fluks di *roll* menjadi bola dengan penambahan binder. Binder, seperti bentonit atau material organik, membantu menyatukan pelet dan mempermudah proses aglomerasi.



**Gambar 2.11** *Green-ball growth* pada proses aglomerasi (Iveson dkk, 2001)





Pada *green pellet*, binder berinteraksi dengan *moisture* dan partikel mineral, menyebabkan gaya kapilaritas (Tigershiold dan Ilmoni 1950; Rumpf 1958) dan gaya viskositas (Wada and Tsuchiya 1970; Forsmo., dkk 2006) dimana mengikat partikel-partikel menjadi satu. Keberadaan bentonit dan binder organik membantu beberapa hal:

1. *Binder membantu mengontrol kelembapan ketika proses aglomerasi.* Binder meningkatkan viskositas uap air didalam struktu *green-pellet*, dan secara perlahan memindahkan uap air dari dalam pelet ke permukaan pelet.
2. *Binder dapat membantu mengontrol uap air berlebih pada proses aglomerasi.* terlalu banyak uap air akan menghasilkan permukaan pelet yang kasar atau pada kondisi yang lebih parah membuat material aglomerasi menjadi lumpur. Binder dapat ditambahkan untuk menyerap kelebihan uap air, yang menghasilkan pelet yang lebih stabil.

Setelah pelet basah terbentuk, uap air dihilangkan dengan mengeringkan pelet pada temperatur tinggi. Ketika uap air menguap, maka gaya kohesi yang mengikat partikel berkurang (Rumpf, 1958) yang dapat menyebabkan pelet menjadi rapuh. Oleh karena itu, tanah liat dan binder organik terkonsentrasi dan melekat pada kontak poin partikel (Ball dkk, 1973), membentuk ikatan mekanik dan lapisan yang meningkatkan kekuatan pelet kering.

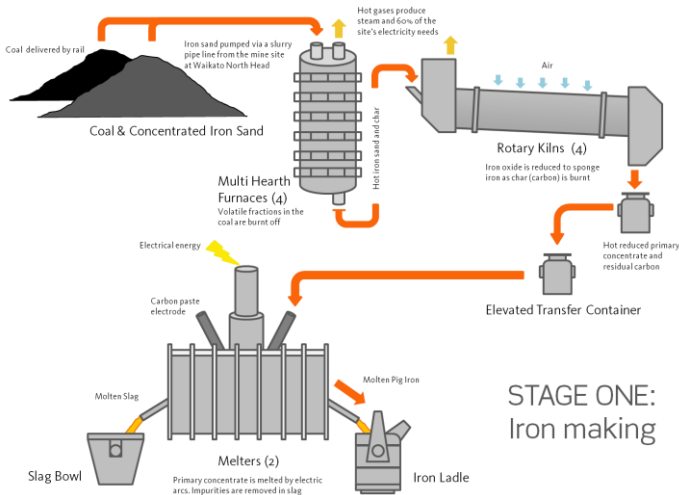
Binder secara umum adalah sesuatu yang dapat digunakan untuk membuat partikel menyatu membentuk massa yang solid. Sejak binder dapat melakukan pengikatan dengan mekanisme yang berbeda-beda, binder tidak bisa sembarang diaplikasikan di segala process. Karena itu sangatlah berguna untuk mengkategorikan binder dengan cara sistematis. Beberapa klasifikasi yang berbeda telah diajukan, dengan salah satu divisi binder yang paling berguna dikelompokkan dalam lima kelompok (Holley, 1982)



1. *Inactive Film*: binder membentuk lapisan tebal pada partikel yang mengikat partikel Sehingga bersatu. Lapisan tersebut dapat mengikat karena gaya kapiler atau oleh gaya adhesi dan kohesi. Ikatan yang terbentuk secara khas dapat berbalik (*reversible*)
2. *Chemical film*: binder membentuk lapisan pada permukaan partikel, yang lalu terjadi reaksi kimia dan mengeras. Ikatan yang terbentuk secara khas tak dapat kembali (*irreversible*)
3. *Inactive matrix*: binder membentuk lebih atau kurang matrix kontinu yang partikel tertanam didalamnya. Seringkali binder dari material seperti tar, *pitch*, atau lilin yang ketika dipanaskan atau diemulsikan menjadi cair dan lalu mengeras ketika didinginkan atau dikeringkan. Binder tipe ini seringkali memerlukan gaya kompaksi dan dosis yang tinggi. Ikatan yang terbentuk dapat berbalik ketika pemanasan
4. *Chemical matrix*: binder benar-benar bereaksi secara kimia dengan material yang diikatnya, menghasilkan ikatan yang sangat kuat. Ikatan ini masih spesifik di material-material tertentu, dan binder tipe ini belum dibuat untuk aglomerasi bijih besi.

## 2.8 Teknologi Pembuatan Sponge Iron dari Pasir Besi

Beberapa negara di dunia telah mengolah pasir besi menjadi *sponge iron* berskala industri. Teknologi yang telah digunakan pada pembuatan *sponge iron* dari pasir besi adalah *rotary kiln* salah satunya yang telah menerapkannya adalah *New Zealand*. Negara New Zealand dengan perusahaan bajanya yang bernama *New Zealand Steel* mengolah pasir besi dengan Teknologi *Rotary Kiln* yang dapat menghasilkan metalisasi sebesar 80% seperti bagan yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.

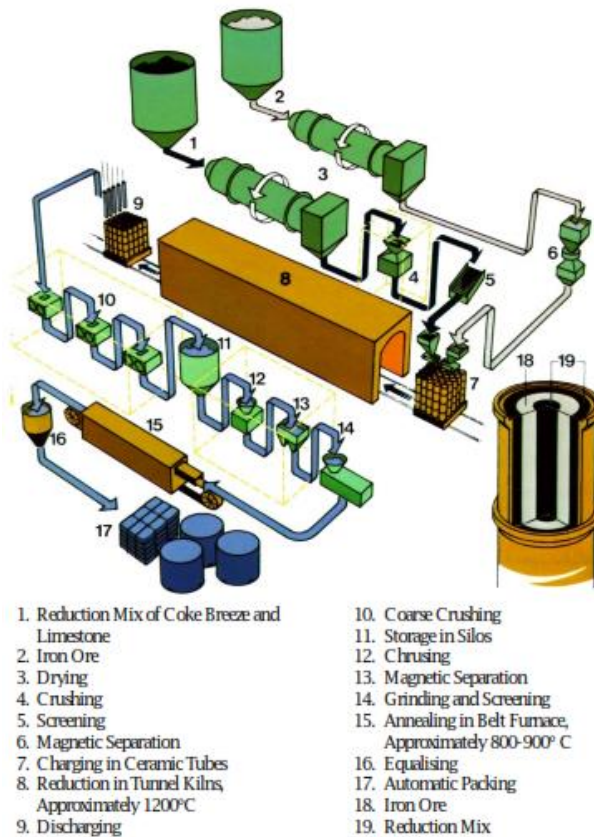


**Gambar 2.12** Skema Pengolahan Pasir Besi di *New Zealand*  
([nzsteel.co.nz](http://nzsteel.co.nz))

Selain *Rotary Kiln* terdapat teknologi lain yang berpotensi dapat diterapkan untuk mengolah pasir besi menjadi *sponge iron* yaitu *Tunnel Kiln Process*. Proses *tunnel kiln* E. Sieurin Hoganas dikembangkan di Hoganas, Swedia pada tahun 1910, dan melibatkan reduksi karbotermik pada tunnel kiln (Ektrop, 1945). Campuran pereduksi yang terdiri dari serbuk batubara atau serbuk kokas, serbuk batu kapur, dan serbuk bijih besi yang masing-masing berukuran butir 3 mm atau dibawahnya dimasukan kedalam wadah keramik berbentuk silinder yang biasa disebut *sagger*. Untuk meningkatkan daya tahan wadah keramik serta transfer panas, *sagger* yang digunakan keramik jenis Silikon Karbida (SiC). Keramik silikon karbida memiliki difusivitas termal yang baik sehingga penetrasi panas dalam SiC berlangsung lebih cepat. Telah diketahui dari perhitungan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk penetrasi panas melewati dinding SiC membutuhkan waktu 3,56 detik (Khattoi, 2015). Susunan bahan dalam *sagger* dilakukan dengan meletakkan konsentrat bijih besi



pada tengah silinder dan diantara konsentrat bijih besi dan sagger didisi dengan campuran kokas dan batu kapur.



**Gambar 2.13** Skema proses pembuatan *sponge iron* dengan *Hoganas Tunnel Kiln* (Hoganas, 2013)

*Tunnel Kiln* yang digunakan dalam proses, sagger, dan susunan bahan baku dalam sagger ditunjukkan pada gambar 2.15; 2.17; dan 2.18 (SIMA DRI Update, 2009)



Sagger SiC yang masih kosong disusun diatas kereta *trolley* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16. setelah tersusun, sagger diisi dengan serbuk campuran batubara-batu kapur dan serbuk bijih besi dengan pengisian secara konsentris. *Tunnel kiln* terdiri dari tiga zona antara lain *Preheating zone*, *reduction zone* (*deoxidize zone*), dan *cooling zone*. Kereta *trolley* yang mengangkut sagger pertama kali melewati *preheating zone*, kemudian melewati *reduction zone* dimana bijih besi direduksi menjadi *sponge iron* pada temperatur tinggi yang konstan pada 1100-1200 °C kemudian melewati *cooling zone* untuk didinginkan. Pada *cooling zone* udara dingin terlebih dahulu mendinginkan *trolley* dan ketika udara tersebut melewati *reduction zone* sebagian panas terbawa oleh udara sehingga meningkatkan temperatur udara tersebut dan udara panas tersebut mem-*preheat* kereta *trolley* yang baru dimasukan ke dalam *tunnel kiln*.. Arah jalannya kereta *trolley* berlawanan dengan arah aliran udara panas pembakaran. Waktu yang dibutuhkan kereta *trolley* melewati seluruh zona *tunnel kiln* adalah sekitar 28-36 jam. Waktu travel kemungkinan berbeda antara *plant* satu dengan yang lainnya (SIMA DRI Update, 2009)

Konsumsi *raw material* dan energi per ton *sponge iron* untuk proses Hoganas *tunnel kiln* ditunjukkan pada Tabel 2.4 Dan komposisi kimia produk *sponge iron* hasil proses Hoganas *tunnel kiln* ditunjukkan pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.4** Konsumsi *Raw Material* dan Energi per Ton *Sponge Iron* (SIMA DRI Update, 2009)

Konsentrat bijih besi	1350 Kg
Kokas	500 Kg
Batu kapur	125-130 Kg
Konsumsi energi	14,5 GJ

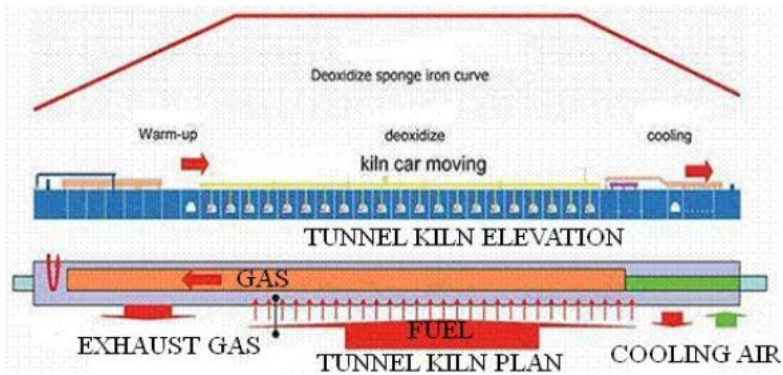


**Tabel 2.5** Tipikal Komposisi Kimia Hoganas *Sponge Iron* (SIMA DRI Update, 2009)

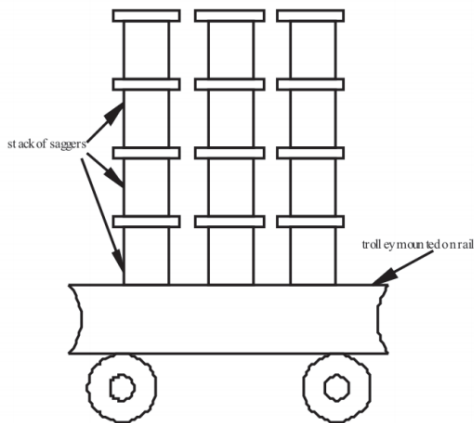
Unsur	% Kadar
Fe (Metalik)	93
Fe (Total)	97
Metalisasi	95,9
C	0,2
S	0,008
P	0,012
Gangue	1,6



**Gambar 2.14** *Tunnel Kiln Pilot Plant*



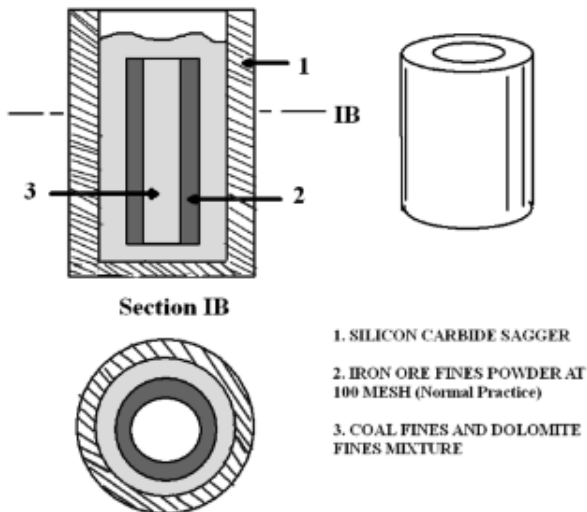
**Gambar 2.15** Skematik *Tunnel kiln* dalam proses Hoganas  
(Khattoi, 2015)



**Gambar 2.16** Susunan Sagger pada kereta dalam Hoganas  
*Tunnel Kiln*



**Gambar 2.17** Sagger Keramik Silikon Karbida (SiC)



**Gambar 2.18** Susunan bahan baku pada penampang horizontal sagger (Khattoi, 2015)



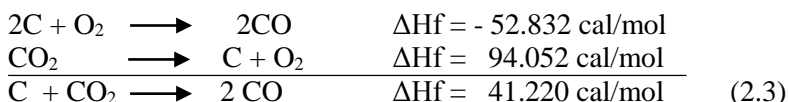


Tiga Hoganas *plant* beroperasi di Oxelound, Swedia (40.000 tpa, 2 *tunnel kiln* 165 m), Hoganas, Swedia (65.00 tpa, 3 *tunnel kiln* 270 m) dan Riverton, New Jersey, Amerika (67.00 tpa, *tunnel kiln* 180 m). Di negara Cina, Tangshan Outstanding Kiln Co.,Ltd. Telah membangun *tunnel kiln* untuk produksi *sponge iron*. Perusahaan ini mempunyai *tunnel kiln* dengan panjang 260 m dan lebar 2,78 m dengan kapasitas produksi per tahun 50.000-70.000 Ton *sponge iron*. Kereta trolley yang digunakan berukuran 3,4m x 2,6m, diatasnya dapat membawa sagger dengan susunan 6x8 dengan tiap kolom memuat 5 sagger. Produk *sponge iron* berbentuk silinder dengan berat sekitar 90 kg dengan temperatur operasi 1220 °C.

## 2.9 Termodinamika Reduksi Besi

### 2.9.1 Termokimia Reaksi

Reaksi kimia selalu melibatkan pelepasan maupun penyerapan energi. Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap material memiliki energi. Energi yang dilepaskan apabila dalam suatu reaksi produk memiliki energi yang lebih rendah daripada pereaktan, sedangkan suatu reaksi dikatakan menyerap energi apabila produk memiliki energi yang lebih tinggi daripada pereaktan (Komarudin, 2008). Ketika suatu unsur bereaksi dengan unsur lain membentuk suatu senyawa, energi panas yang digunakan pada reaksi tersebut disebut sebagai energi panas pembentukan (entalpi pembentukan) yang diberi lambang  $\Delta H_f$ .



Ketika suatu senyawa bereaksi dengan senyawa lain membentuk suatu senyawa baru maka  $\Delta H_f$  berubah menjadi  $\Delta H$  penguraian, oleh karena itu besar  $\Delta H_f$  harus dibalik. Apabila  $\Delta H$  bernilai positif maka reaksi merupakan reaksi endotermik



(menyerap panas). Apabila  $\Delta H$  negatif maka reaksi merupakan reaksi eksotermik (melepas panas) (Komarudin, 2008).

Panas reaksi atau perubahan entalpi pada reaksi merupakan jumlah panas yang meningkat atau diserap ketika reaksi berjalan pada temperatur dan tekanan yang konstan dan perubahan entalpi dilambangkan dengan  $\Delta H_T$  (Arabinda, 2011).

$$\begin{aligned}\Delta H_T &= H_{\text{produk}} - H_{\text{reaktan}} \\ &= \Delta H_{298}^0 + \left[ \int_{298}^T C_p \, dT \right]_{\text{Produk}} - \left[ \int_{298}^T C_p \, dT \right]_{\text{Reaktan}} \\ &= \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p \, dT\end{aligned}\quad (2.4)$$

## 2.9.2 Diagram Ellingham

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot kedalam suatu grafik dengan parameter energi bebas vs temperatur. Pada diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram yang paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Nilai  $\Delta G^\circ$  untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida. Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.19 dan 2.20 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO.

Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu. Selain menggunakan diagram Ellingham,



termodinamika suatu reaksi dapat ditentukan melalui perhitungan energi bebas  $\Delta F$  dari reaksi tersebut dengan menggunakan  $\Delta F^0$  referensi (Komarudin, 2008).

Energi bebas suatu reaksi juga dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip kesetimbangan kimia :



Kecepatan reaksi pereaktan sama dengan kecepatan pereaksi produk ( $V_{\text{pereaktan}} = V_{\text{produk}}$ ). Energi bebas dapat ditentukan dengan persamaan 2.

$$\Delta F^0 = -RT \ln K = -RT \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B} \quad (2.5)$$

Keterangan :

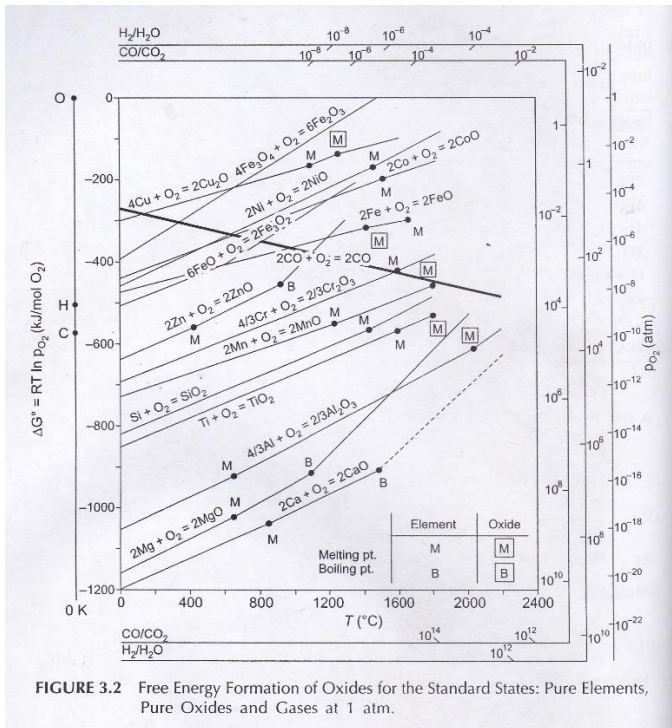
$\Delta F^0$  = Energi bebas (cal/mol)

R = konstanta gas

T = Temperatur (K)

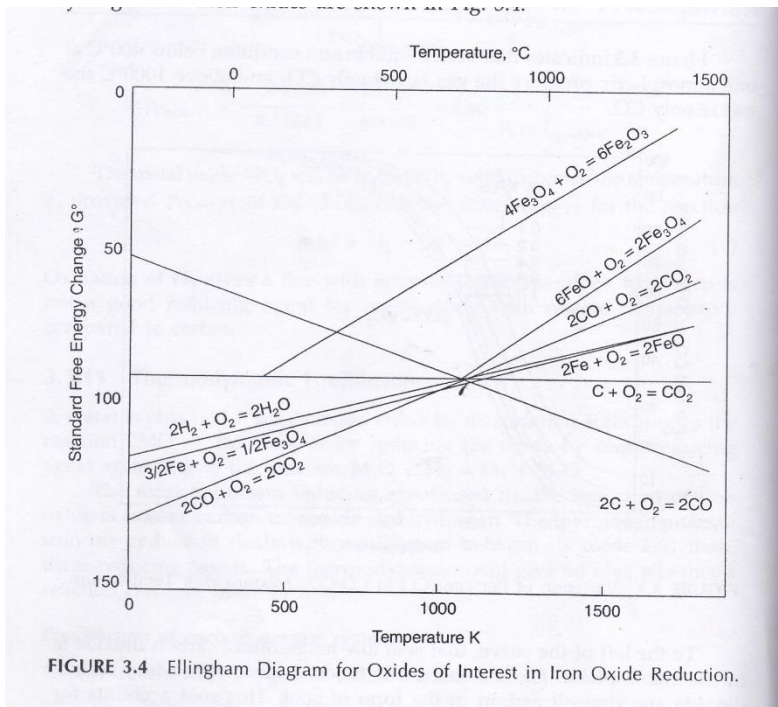
a = Aktivitas

Aktivitas pada gas sama dengan tekanan parsial yang dimiliki oleh gas tersebut. Untuk material padat dan cair, sama dengan konsentrasi yang dimiliki.



**Gambar 2.19** Diagram Ellingham untuk oksida logam

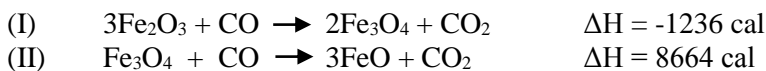
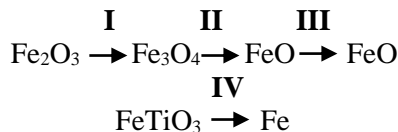
Klasifikasi reaksi reduksi bijih besi berdasarkan *reducing agent* dikemukakan oleh metallurgist Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Chatterjee, 1988). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 cara yaitu: kontak antara bijih dan arang atau interaksi dengan *reducing gas* yaitu Karbon Monoksida dan Hidrogen.

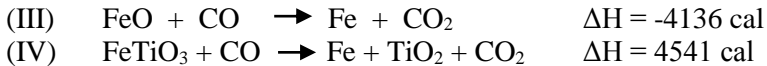


**Gambar 2.20** Diagram Ellingham untuk reduksi besi oksida

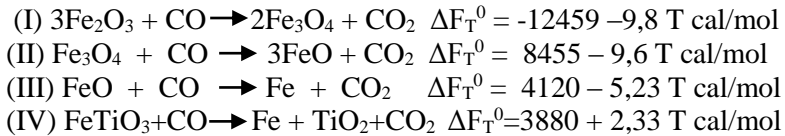
### 2.9.3 Tahapan Reaksi Reduksi Pasir Besi Oleh Gas CO

Ada empat tahapan reaksi reduksi pada besi oksida dalam pasir besi dengan reduktor gas CO, yakni:





Dengan menggunakan rumus energi bebas, maka persamaan diatas secara termodinamika dapat ditulis sebagai berikut (Haoyan Dkk, 2016) :



Untuk mengetahui apakah reaksi ini dapat berlangsung atau tidak pada temperatur tertentu, maka perlu menghitung nilai energi bebasnya. Seperti contoh pada persamaan (II), apabila temperatur pemanasan (T) 700 K maka nilai  $\Delta F_T^0$  akan bernilai positif. Namun apabila temperatur pemanasan (T) 973 K maka nilai  $\Delta F_T^0$  akan bernilai negatif. Arti tanda positif menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak akan berjalan spontan atau reaksi itu berjalan namun reaksinya berkebalikan, sebaliknya jika  $\Delta F_T^0$  bernilai negatif maka reaksi tersebut akan berjalan pada temperatur tersebut. Semakin negatif nilai  $\Delta F_T^0$  maka reaksi tersebut berjalan semakin cepat (Komarudin, 2008).

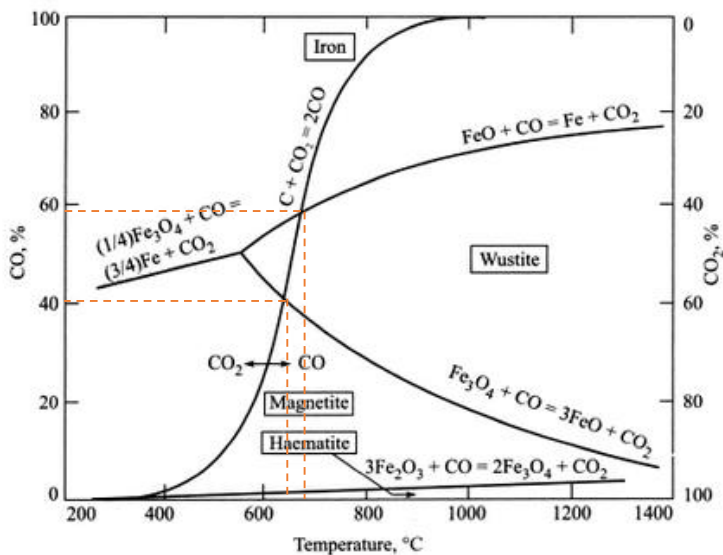
#### **2.9.4 Diagram Boudouard – Gaussner**

Gaussner – Boudouard membuat sebuah diagram yang menggambar kesetimbangan antara besi, hematit, magnetit, wustit, karbon padat, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Diagram ini merupakan untuk reduksi langsung dengan karbon. Dari garis kesetimbangan Boudouard, pada temperatur 1000 °C terdapat 100% gas CO. Apabila temperatur diturunkan maka kesetimbangan tersebut tidak tercapai sehingga terjadi penguraian dari gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan C. Sehingga jumlah gas CO (pereduktor) akan berkurang. Pada daerah disebelah kiri garis kesetimbangan maka gas CO<sub>2</sub> akan lebih stabil sehingga gas CO



yang ada akan terurai menjadi  $\text{CO}_2$ . Pada daerah disebelah kanan garis kesetimbangan boudouard gas CO lebih stabil sehingga gas  $\text{CO}_2$  akan mengalami reaksi Boudouard membentuk gas CO.

Reaksi Boudouard merupakan reaksi yang bersifat endotermik sehingga membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat berjalan. Dari diagram Boudouard-Gaussner pada Gambar 2.21, senyawa yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara  $\text{CO}/\text{CO}_2$  dan juga temperatur operasi.



**Gambar 2.21** Diagram Gaussner - Boudouard (Arabinda dan Bidyapati, 2011)

Pada diagram di atas terdapat kesetimbangan besi oksida dengan campuran  $\text{CO}/\text{CO}_2$ , antara lain :

1. Garis kesetimbangan Boudouard :  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$
2. Garis kesetimbangan :  $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
3. Garis kesetimbangan :  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$



4. Garis kesetimbangan :  $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$

Reaksi Boudouard merupakan reaksi yang bersifat endotermik sehingga membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat berjalan.

Seperti contohnya pada temperatur 700 °C dengan perbandingan CO/CO<sub>2</sub> adalah 60:40, maka senyawa yang paling stabil adalah wustit (FeO). Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) akan tereduksi menjadi wustit, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi wustit. Hal penting yang dapat disimpulkan dari kesetimbangan boudouard antara garis kesetimbangan wustit/Fe dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 700 °C. Hal tersebut mengindikasikan bahwa temperatur minimum untuk mereduksi wustit menjadi Fe adalah 700 °C. Kemudian antara garis kesetimbangan magnetit/wustit dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 650 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi wustit adalah 650 °C. Temperatur minimum diatas pada tekanan 1 atm. Sangat tidak mungkin reaksi dapat berjalan dibawah temperatur minimum karena karbonmonoksida terurai menjadi karbondioksida (Komarudin, 2008).

## **2.10 Kinetika Reduksi Besi**

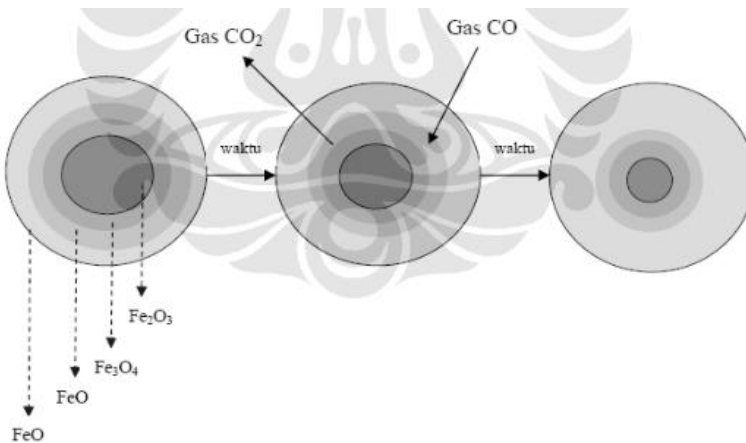
Kinetika reaksi reduksi bijih besi adalah kecepatan besi oksida untuk bertransformasi menjadi logam besi dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih besi ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih besi tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, porositas, struktur kristal, serta komposisi kimia (El-Geassy dkk, 2007). Kinetika reduksi langsung menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase



gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon (El-Geassy Dkk, 2007).

*Reduciability* dari besi oksida sangat dipengaruhi oleh porositas yang dimiliki oleh besi oksida tersebut. Semakin tinggi porositas maka akan mempermudah difusi gas pereduksi CO pada besi oksida sehingga akan meningkatkan laju reduksi. Pelet hasil aglomerasi memiliki porositas yang jauh lebih tinggi daripada pelet yang disinter, sehingga *reduciability* pelet hasil aglomerasi jauh lebih tinggi daripada pelet hasil sinter.

Ukuran partikel pereaksi seperti karbon juga sangat berpengaruh. Semakin kecil partikel karbon maka semakin luas permukaan yang memungkinkan terjadinya reaksi, sehingga laju pembentukan CO semakin tinggi.



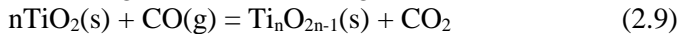
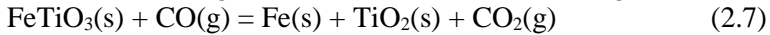
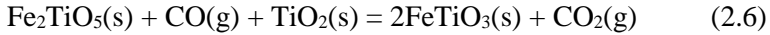
**Gambar 2.22** Mekanisme Reduksi Langsung Pelet Berpori  
(Komarudin, 2008)

### 2.11 Reduksi Ilmenit Oleh Gas Karbon Monoksida

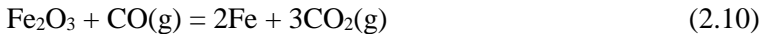
Reduksi ilmenit dengan karbon pada temperatur diatas 1000 °C terjadi melalui kontak dengan gas karbon monoksida sebagai gas perantara. Zhao menemukan bahwa reaksi yang



terjadi pada reduksi ilmenit dengan CO sebagai agen pereduksi adalah:



Poggi dkk. menunjukkan bahwa reduksi ilmenit terjadi dalam dua tahap. Pertama, hematit direduksi oleh CO sebagai agen pereduksi seperti pada reaksi dibawah ini:



Kedua, besi ferrous pada ilmenit direduksi menjadi besi metalik dengan reaksi dibawah ini :



Kedua reaksi berlangsung secara teratur dan berjalan masing-masing. Berdasarkan temperatur dan rasio CO/CO<sub>2</sub>, reaksi bolak-balik Boudouard seperti pada reaksi dibawah ini terjadi.

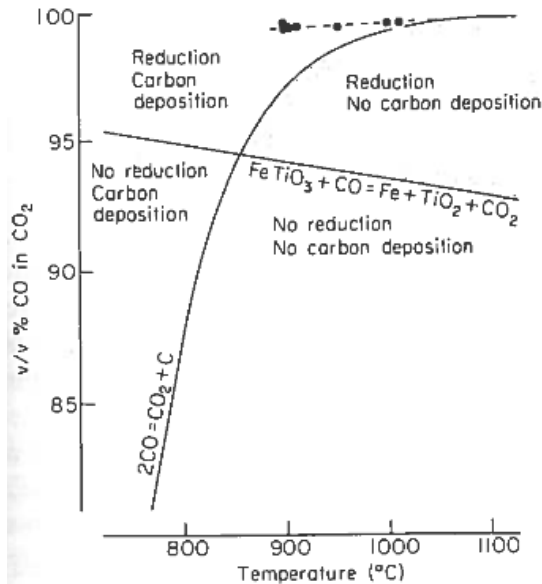


Reaksi bolak-balik boudouard di katalis oleh besi metalik yang dihasilkan selama reduksi ilmenit. Komposisi biner campuran gas pada kondisi ekuilibrium dengan karbon solid dan ilmenit sebagai fungsi temperatur ditunjukkan pada Gambar 2.23

reaksi reduksi ilmenit dengan karbon pada temperatur dibawah 1200 °C sudah dapat menghasilkan besi dan oksida titanium (Ti<sub>n</sub>O<sub>2n-1</sub>) dan (Fe,Ti)<sub>3</sub>O<sub>5</sub> (Francis, 2008). Sedangkan pada temperatur diatas 1300 °C reaksi reduksi ilmenit dengan karbon telah diketahui dapat menghasilkan cairan besi karbon jenuh dan titanium oksikarbida (Francis, 2008). Selain itu



dengan menggunakan gelombang mikro (*microwave*) (Kelly dkk., 1995) proses reduksi ilmenit dapat dipercepat dan lebih banyak menghasilkan produk metalisasi. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6.



**Gambar 2.23.** Komposisi gas CO/CO<sub>2</sub> pada kondisi ekuilibrium dengan karbon dan ilmenit sebagai fungsi dari temperatur (Marius, 2012)

Pada Tabel 2.6 Dapat diamati bahwa proses reduksi menggunakan metode konvensional dengan *muffle furnace* baru dapat menghasilkan besi pada temperatur 900 °C selama 4 jam waktu pembakaran dan perolehan besi tertinggi diperoleh pada temperatur 1000 °C selama 8 jam, sedangkan dengan menggunakan gelombang mikro dengan daya 750 W selama 10 menit besi sudah dapat dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan menggunakan gelombang mikro area permukaan dari



pelet dapat diperbesar sehingga kontak dengan pereduksi akan lebih banyak sehingga mempercepat reaksi.

**Tabel 2.6** Perbandingan Reduksi Ilmenit Menggunakan Dua Metode (Marius, 2012)

Norwegian Concentrate				
Phase	Ilmenite	Rutile	Pseudobrookite	Pseudorutile
Feed	1166	57	~	~
Post-oxidation	~	149	686	~
Conventional Reduction				
Phase	Ilmenite	Rutile	Pseudobrookite	Iron
700°C/4hrs	594	126	354	~
700°C/8hrs	663	171	137	~
700°C/16hrs	617	194	114	~
800°C/4hrs	960	57	~	~
800°C/8hrs	982	74	~	~
800°C/16hrs	709	182	~	~
900°C/4hrs	1063	34	~	137
900°C/8hrs	1120	80	~	103
900°C/16hrs	800	126	137	80
1000°C/8hrs	594	126	126	377
Microwave Reduction				
650W/5mins	91	149	663	~
750W/5mins	91	160	663	~
750W/8mins	480	86	228	~
750W/10min	685	69	143	146
1000W/5min	354	120	429	~

## 2.12 Sponge Iron

*Sponge Iron* merupakan bentuk *solid state* dari reaksi reduksi langsung selama proses reduksi langsung, oksigen dihilangkan dari bijih besi dalam keadaan *solid state*, hal tersebut menghasilkan struktur *spongy* sehingga disebut dengan istilah



“*sponge iron*” dengan porositas yang tinggi (Arun, 2009). Selain bentuk *solid state* dapat juga berbentuk aglomerat yang secara prinsipnya tersusun dari besi metalik, oksida besi sisa, dan pengotor sejenis fosfor, sulfur, dan *gangue* (silika dan alumina). Hal ini dikarenakan pada proses pembuatannya *sponge iron* menggunakan bahan dasar berupa bijih besi yang berupa oksida (Magnetit, Hematit, dll) serta pengotornya. Menurut standar IS 15774: 2007 dalam praktiknya sebuah *sponge iron* harus memiliki derajat metalisasi lebih dari 82%. Hal ini dikarenakan *Sponge iron* digunakan sebagai bahan baku dalam proses *steel making*, selain dari besi *scrap*.

Proses pembuatan *sponge iron* sudah ada sejak tahun 1300 M, dan merupakan sumber utama dalam pembuatan besi dan baja sebelum proses *Blast Furnace* ditemukan. Pembuatannya dulu memakai *hearth furnace* atau *shaft furnace*, dengan *charcoal* sebagai bahan bakar dan reduktor. Walaupun proses ini sudah ada namun masih terus digunakan sampai sekarang dengan berbagai perbaikan dan pengembangan (Faenman, 1999).



**Gambar 2.24** Produk *Sponge Iron* pada umumnya (Khattoi, 2015)

Berdasarkan konten Fe total dan derajat metalisasi, *sponge iron* dikelompokkan menjadi tiga *grade* (Arun, 2009):

1. **A Grade *Sponge Iron***



- Sponge iron* yang memiliki Fe total lebih dari 88% dan derajat metalisasi hingga 98%.
2. **B Grade Sponge Iron**  
*Sponge iron* yang memiliki Fe total antara 80% hingga 87% dan derajat metalisasi hingga 90%
  3. **C Grade Sponge Iron**  
*Sponge iron* yang memiliki Fe total yang lebih rendah dari 80% dan derajat metalisasi lebih rendah dari 84%.

### 2.13 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang pengaruh variasi binder terhadap derajat reduksi bijih besi maupun pasir besi telah dilakukan oleh beberapa peneliti dan diperkirakan masih akan terus berkembang seiring kebutuhan binder pada industri besi dan baja yang memberikan sifat fisik dan metalurgis yang baik namun tidak mengkontaminasi produk akhir. Khairil, Mahidin, dan Iskandar dari Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia melakukan studi mengenai efek reduksi besi terhadap tipe binder pada briket bijih besi. Dalam eksperimen ini ada tiga tipe sampel yang digunakan dan satu sampel pembanding yaitu briket campuran bijih besi dan batubara *low grade* sebagai sampel pembanding dan briket campuran batubara-bijih besi-aspal, batubara-bijih besi-*heavy oil*, dan batubara-bijih besi-bentonit. Proses reduksi dilakukan di *electric furnace*. Gas CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> diinjeksi ke reduktor sebagai media gas pereduksi. Derajat reduksi dinyatakan dalam index reduksi bijih besi (IRI). Indeks reduksi ditentukan oleh perubahan massa ketika direduksi gas CO<sub>2</sub>. Derajat reduksi pada sampel dikarakterisasi menggunakan XRD. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa konten batubara dan tipe binder memainkan peran penting dalam reduksi massa briket. Reduksi massa briket yang dicampur 10% batubara *low grade* lebih cepat dibanding dengan yang tanpa batubara. Briket yang menggunakan binder *heavy oil* pengurangan massanya lebih cepat. Komponen di dalam sampel didominasi oleh Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dan karbon. Hasil menunjukkan bahwa briket bijih besi menggunakan aspal sebagai



binder lebih mudah mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dibanding menggunakan binder *heavy oil* dan bentonit.

Pramusanto, Sriyanti, dan Ariefandin dari Jurusan Teknik Pertambangan UNISBA pada tahun 2010 melakukan penelitian tentang penambahan bentonit dan penambahan CMC terhadap hasil peletisasi pasir besi. Penelitian ini membandingkan sifat mekanis berupa kuat tekan dan sifat fisik berupa porositas, *bulk density*, dan *swelling index* dari pelet. Pasir besi berasal dari Kutoarjo, variasi kadar binder yang digunakan adalah untuk bentonit adalah sebesar 0,6%, 1%, dan 2% kemudian untuk CMC sebesar 0,5%, 1%, dan 2%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan pelet basah berbinder CMC lebih kuat dibanding bentonit di semua kadar. Hal yang sama juga didapat pada kekuatan pelet kering. Kekuatan pelet bakar berbinder bentonit lebih kuat dibanding CMC. Hasil uji porositas, *bulk density*, dan *swelling index* menunjukkan bahwa prositas CMC lebih besar dari bentonit namun belum mencapai standar industri. *Bulk density* berbanding terbalik dengan porositas dan *swelling index* CMC lebih tinggi dari bentonit.

Subhram Keshary dan Tintula Krishnan pada tahun 2008 dalam penelitiannya yang berjudul “*Reduction Kinetics of Iron ore pellets and the effect of Binders*”, memvariasikan binder dan kadar penggunaannya serta waktu dan temperatur reduksi. Binder yang digunakan adalah dextrin dan bentonit dengan variasi kadar penggunaan sebanyak 2%, 5%, dan 8%. Sementara rentang temperatur reduksi adalah 900-1050 °C dan variasi waktu reduksi yang digunakan antara lain 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Hasil yang diperoleh antara lain dengan meningkatnya temperatur dan waktu reduksi, presentase reduksi meningkat. Kemudian sampel berbinder dextrin lebih besar presentase reduksinya daripada bentonit, tingkat reaksi pelet dengan binder dextrin lebih cepat daripada bentonit.

Suharto, Yayat Iman, dan M. Amin dari UPT. Balai Pengolahan Mineral Lampung pada tahun 2013 melakukan uji coba proses reduksi bijih besi lokal menggunakan *rotary kiln*.



Terlebih dahulu dilakukan pembuatan pelet bijih besi. Variabel yang digunakan yaitu temperatur reduksi dan jenis binder. Analisa yang dilakukan adalah kadar Fe Total dan derajat metalisasi. Binder yang dipakai adalah kanji dan bentonit sedangkan variasi temperatur reduksi yang digunakan 1000, 1100, dan 1200 °C. Hasil yang diperoleh antara lain semakin tinggi temperatur proses maka derajat metalisasi semakin tinggi dan nilai derajat metalisasi tertinggi yaitu 95,31% untuk *sponge iron* dengan binder bentonit dan temperatur reduksi 1200 °C.

Marius Sunde dari *Norwegian University of science and Engineering* dalam penelitiannya pada tahun 2012 yang berjudul “*Organic binder as a substitute for bentonite in ilmenite pelletization*” mereduksi tiga pelet dengan variasi yang berbeda yaitu memakai binder 0,8% bentonit, 0,08% CMC Peridur 300, dan tanpa binder. Reduksi dilakukan di mesin *Thermo gravimetric analyzer* (TGA). Sebelum direduksi di TGA pelet terlebih dahulu direduksi di *muffle furnace* dengan temperatur 800 °C dalam atmosfir udara biasa. Setelah pelet didinginkan di temperatur ruangan, sampel dimasukkan kedalam TGA dan dipanaskan hingga 1000 °C dengan atmosfir argon, argon digantikan dengan karbon dioksida dan reduksi dilakukan selama 4 jam. Ketika sampel didinginkan atmosfir yang digunakan adalah argon. Hasil yang diperoleh adalah pelet berbinder CMC peridur 300 tereduksi paling cepat.



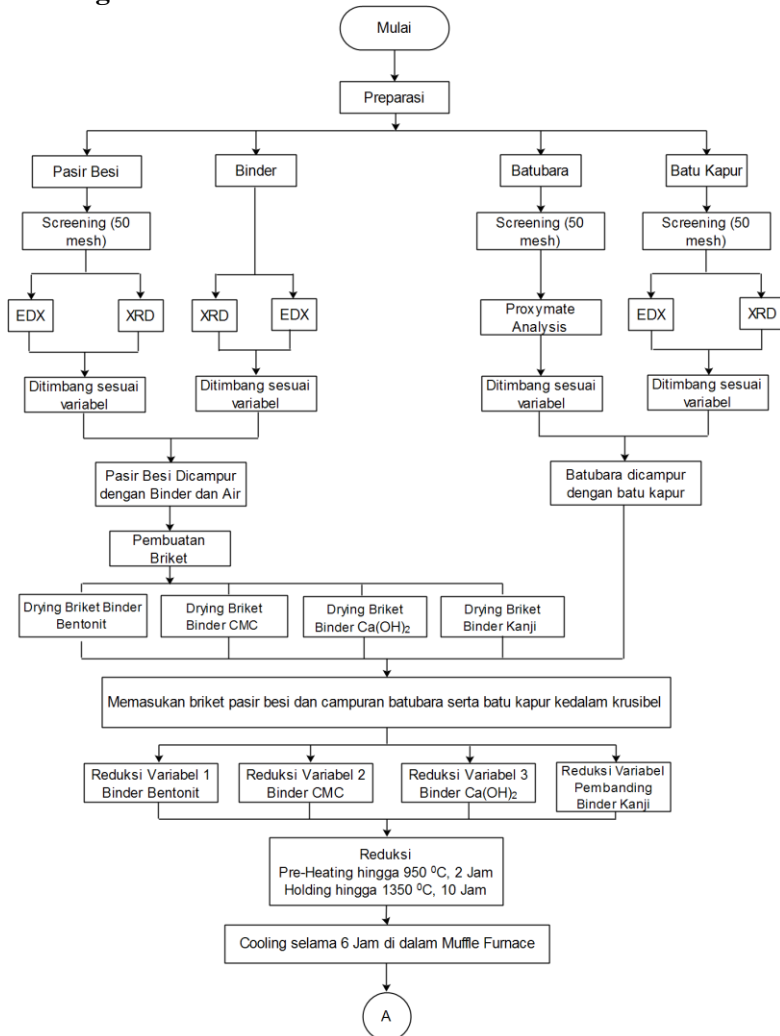


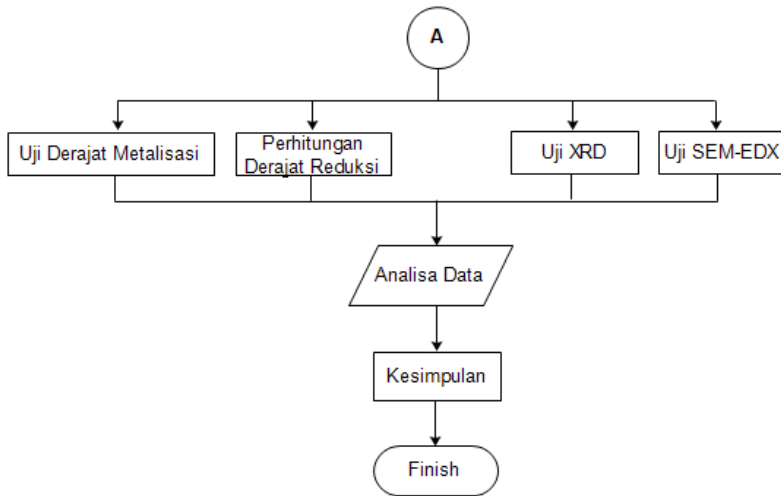
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

#### 3.2.1 Pasir Besi

Pasir besi seperti pada Gambar 3.2 yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi yang berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pasir besi di *screening* terlebih dahulu hingga ukuran 50 mesh.



**Gambar 3.2** Pasir Besi

### **3.2.2 Batubara**

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan. Batubara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Batu bara yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.2** Batubara



### **3.2.3 Batu Kapur**

Batu Kapur (Dolomite) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh. Batu kapur yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Batu Kapur

### **3.2.4 Air**

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu air ledeng.

### **3.2.5 LPG**

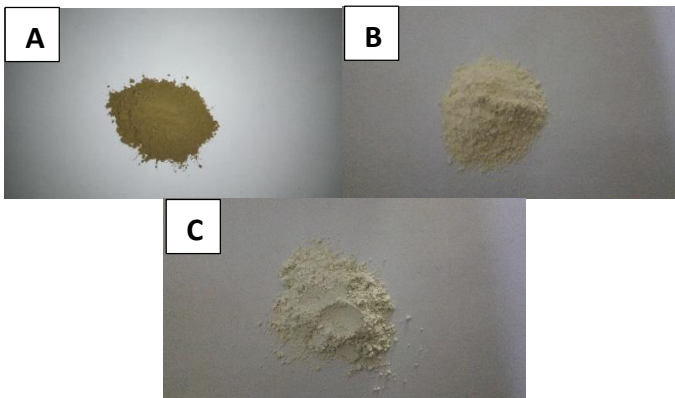
LPG digunakan dalam penelitian sebagai sumber bahan bakar yang digunakan dalam *Muffle Furnace*. LPG yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** LPG

### **3.2.2 Binder**

Ada tiga jenis binder yang dipakai dalam penelitian ini diantaranya adalah bentonit, kalsium hidroksida, dan CMC seperti pada Gambar 3.6. Ketiga jenis binder tersebut berfungsi sebagai pengikat briket pasir besi



**Gambar 3.6** Variasi Binder (A) Bentonit, (B) CMC, (C)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



### 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

#### 3.3.1 Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Alat kompaksi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7. Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa pasir besi, binder dan air. Volume hasil briket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket :

Panjang : 4,3 cm

Lebar : 3,4 cm

Tebal : 1,65 cm



**Gambar 3.7** Alat Kompaksi

#### 3.3.2 *Muffle Furnace*

Proses aglomerasi dilakukan dengan menggunakan *Muffle Furnace* seperti pada Gambar 3.8. Dimensi *Muffle Furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut :



Panjang : 48 cm  
Lebar : 85 cm  
Tinggi : 64 cm  
Tebal batu tahan api : 7 cm



**Gambar 3.8** *Muffle Furnace*

### **3.3.3 Timbangan Digital**

Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket, ditunjukkan pada Gambar 3.9.



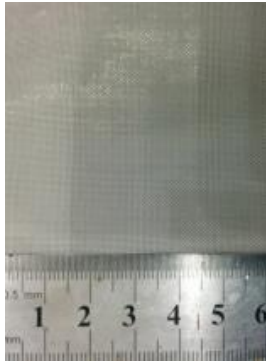
**Gambar 3.9** Timbangan Digital





### **3.3.4 Ayakan**

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh seperti pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Ayakan

### **3.3.5 Thermocouple**

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *Muffle Furnace* saat proses aglomerasi.



**Gambar 3.11** *Thermocouple*



### 3.3.6 *Blower*

*Blower* digunakan untuk meniupkan udara luar ke dalam *Muffle Furnace*. *Blower* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12** Blower

### 3.3.7 *Oven*

*Oven* digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi untuk menghilangkan *moisture content*. *Oven* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Oven



### **3.3.8 Alat Tumbuk**

Alat tumbuk pada Gambar 3.14 digunakan untuk menghancurkan bahan baku yang digunakan agar mendapatkan ukuran butir bahan baku yang sesuai, yaitu 50 mesh.



**Gambar 3.14** Alat Tumbuk

### **3.3.9 Krusibel**

Krusibel seperti pada Gambar 3.15 merupakan silinder tempat berlangsungnya proses reduksi. Krusibel terbuat dari Silika Karbida (SiC) dengan dimensi sebagai berikut:

Diameter dalam	: 110 mm
Diameter luar	: 121 mm
Tinggi bagian luar	: 141 mm
Tinggi bagian dalam	: 126 mm
Tebal dinding Krusibel	: 11 mm



**Gambar 3.15** Krusibel

### **3.4 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.3.1 Preparasi Material**

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

- Pasir besi diayak dengan ukuran ayakan 50 mesh
- Batu bara dan batu kapur dihancurkan dan diayak dengan ukuran partikel 50 mesh
- Pasir besi diuji EDX dan XRD sementara batu kapur diuji XRF dan XRD
- Binder diuji XRD dan EDX
- Batu bara diuji *proximate analysis*
- Pembuatan satu buah briket pasir besi,

dalam satu kali proses reduksi dibutuhkan 4 buah briket dengan berat total 200 gram pasir besi. Pasir besi hasil ayakan ditimbang dengan berat 200 gram. Pasir besi dicampur dengan binder bentonit sebanyak 10 gram untuk variabel kesatu, CMC sebanyak 10 gram untuk variabel kedua, dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sebanyak 30 gram kemudian campuran pasir besi dan binder ditambahkan

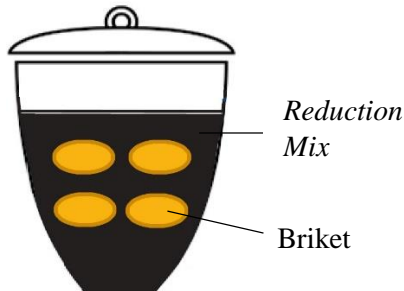


air sebanyak 15 gram untuk binder bentonit, 5 gram untuk binder CMC, dan 10 gram untuk binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , kemudian diaduk hingga homogen. Campuran pasir besi, binder, dan air dibentuk menjadi briket bantalan dengan cara dikompaksi seperti pada Gambar 3.16. setelah dikompaksi briket dikeringkan menggunakan oven. temperatur dan lama pengeringan untuk briket berbinder bentonit adalah  $150^\circ\text{C}$  selama 2 jam, untuk briket berbinder CMC adalah  $115^\circ\text{C}$  selama 2 jam, dan untuk briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adalah  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Setelah dikeringkan briket kemudian ditimbang untuk mengetahui jumlah batubara dan batu kapur yang dibutuhkan sesuai dengan perbandingan stoikiometri.



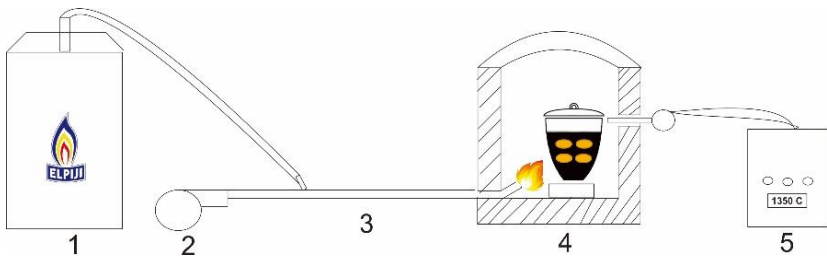
**Gambar 3.16** Briket *pillow* pasir besi

- g. Pembuatan campuran batu bara dan batu kapur  
Batu bara dan batu kapur hasil ayakan ditimbang dengan berat sesuai perhitungan stoikiometri yaitu dengan perbandingan pasir besi : batubara : batu kapur adalah 1 : 0,50 : 0,65
- h. Briket pasir besi dicampur dengan batu bara dan batu kapur kemudian dimasukkan kedalam *crucible* dengan susunan seperti pada Gambar 3.17



**Gambar 3.17** Susunan Briket dan *Reduction Mix*

- i. *Crucible* kemudian dimasukkan kedalam *muffle gas furnace* untuk dipanaskan. Panas yang dihasilkan berasal pembakaran gas LPG yang dihembuskan dengan udara bertekanan yang berasal dari *blower* dengan susunan alat seperti pada Gambar 3.18



**Gambar 3.18** Susunan Peralatan 1) gas LPG, 2) blower, 3) pipa burner, 4) *muffle gas furnace*, 5) *thermocouple*

### 3.4.2 Proses Reduksi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses reduksi adalah :

- a) *Crucible* yang berisi bahan baku dimasukkan dalam *muffle furnace*



- b) Pemanasan *crucible* dilakukan dengan *pre-heat* terlebih dahulu pada temperatur 950 °C selama 2 jam kemudian dilakukan *holding* pada temperatur 1350 °C selama 10 jam
- c) Sampel didinginkan di dalam *muffle furnace* selama 6 jam
- d) Setelah proses reduksi selesai, *crucible* dikeluarkan dari *muffle furnace*. Hasil reduksi tersebut dikeluarkan dari *crucible* untuk selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD, SEM-EDX, derajat reduksi, dan derajat metalisasi.

#### 3.4.3 X-Ray Fluorescence (XRF)

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil reduksi maka dilakukan pengujian pada sampel hasil reduksi menggunakan olympus Delta Premium Handed XRF Analyzers milik PT. Asia Resource Sejahtera. Pengujian XRF dapat mengidentifikasi kandungan unsur dari pasir besi. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan unsur dalam sampel menggunakan metode spektometri. Alat ini seperti pada Gambar 3.19 mempunyai keunggulan analisa yaitu lebih sederhana dan lebih cepat dibanding alat analisa yang lain. Alat XRF merupakan alat uji yang tidak merusak dan mampu menentukan kandungan unsur dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



**Gambar 3.19** *Olympus Delta Premium Handled XRF Analyzers*

#### **3.4.4 X-Ray Diffraction (XRD)**

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan diuji dengan alat XRD seperti pada Gambar 3.20. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-1} - 10$  nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi  $10^3 - 10^6$  eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama.





**Gambar 3.20** XRD PAN Analytical

#### **3.4.5 Scanning Electron Microscope (SEM)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek *solid* secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk mengetahui topografi, morfologi dari suatu sampel yang diuji. Alat uji SEM-EDX yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.21.



**Gambar 3.21 SEM-EDX**

### **3.4.6 *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)***

*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap – tiap *photon X-Ray* menunjukkan karakteristik masing – masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak–puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel.



Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel.

### 3.4.7 Derajat Reduksi

Derajat Reduksi dapat didefinisikan sebagai derajat yang menyatakan kemudahan oksigen dihilangkan dari oksida besi selama proses reduksi., derajat reduksi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1

$$\% \text{Reduksi} = \frac{\Delta m}{O \text{ awal}} \quad (3.1)$$

Dimana  $\Delta m$  adalah perubahan massa awal dan akhir briket kemudian  $O \text{ awal}$  adalah kadar oksigen awal yang ada pada oksida besi maupun oksida besi titanium.

### 3.4.8 Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar *moisture*, *volatile matter*, *ash*, dan *fixed carbon* dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (*Fixed Carbon*), ASTM D 3173-02 (*Moisture*), ASTM D 3174-02 (*Ash*), dan ASTM D 3175-02 (*Volatile matter*).

#### 3.4.6.1 Moisture

Analisa kadar *moisture* dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur



1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan ( $104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ ). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.

1. Menghitung hasil analisa.  
Perhitungan

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

#### 3.4.6.2 Volatile Matter

Analisa kadar *volatile matter* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga  $250\ \mu\text{m}$ .

Alat

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm. Dan tinggi 30 – 35 mm.
2. *Vertical electric tube furnace*.

Prosedur

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam *furnace*, temperatur dijaga  $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ .
2. Setelah *volatile matter* lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api *luminous*, periksa tutup krusibel masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar *furnace* dan didinginkan.



4. Timbang ketika dingin
5. Presentasi *weight loss* dikurangi presentasi *moisture* sama dengan *volatile matter*.

Perhitungan

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.3)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen *volatile matter* dihitung

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \quad (3.4)$$

Dimana,

C = *Weight Loss* (%)

D = *Moisture* (%)

#### 3.4.6.3 Ash

Analisa kadar *ash* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat

1. *Electric muffle furnace*
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam *furnace* dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500 °C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700–750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari *furnace*, didinginkan dan timbang.



### Perhitungan

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \quad (3.5)$$

Dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan *ash* (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)

#### 3.4.6.4 Fixed Carbon

Analisa kadar *fixed carbon* dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar *moisture*, *ash*, dan *volatile matter*.

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \quad (3.6)$$

### 3.4.9 Derajat Metalisasi

Untuk mengetahui Fe metal yang terbentuk dilakukan pengujian derajat metalisasi dengan metode besi klorida. Standar pengujian yang dilakukan adalah IS 15774: 2007. Metode ini melibatkan pelarutan sampel dalam larutan besi (iii) klorida dengan dilanjutkan filtrasi dan titrasi besi yang terlarut dalam filtrat. Reaksi antara besi (III) klorida dan besi metalik (3.6).



Bahan :

1. Besi (iii) klorida (10 persen)
2. Larutkan 100 gram besi (iii) klorida ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) dalam air dan larutkan hingga 1 liter
3. Asam Klorida ( $\text{HCl}$ ) 32%
4. Asam Pospat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85%
5. Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98%
6. Indikator Sodium Diphenylamine Sulphonate



7. Larutkan tepat 0.32 gram barium diphenylamine sulphonate dalam 100 ml air panas. Tambahkan 0.5 gram sodium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Aduk dan saring endapan barium sulfat. Simpan filtrat dalam botol bewarna gelap.
8. Potasium Dikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
9. Larutkan tepat 4.903 gram potassium dikromat dalam air aquades sebanyak 1000 ml. Campur dan gunakan sebagai larutan standar.
10. Aquades

Alat :

1. Kertas saring medium (porositas 10 micron)
2. Gelas beaker 500 ml
3. Gelas beaker 1000 ml
4. Pipet tetes
5. Biuret
6. Stirrer ukuran 4 mm
7. Magnetic stirrer berlapis polypropilena
8. Botol hitam
11. Sarung tangan
12. Masker
13. Tissue
14. Buret Titration dan Statif

Prosedur :

1. Masukkan 1 gram sampel dalam gelas Erlenmeyer 500 ml.
2. Tambahkan 200 ml larutan besi klorida.
3. Tutup gelas Erlenmeyer.
4. Aduk larutan dengan magnetic stirrer selama 1 jam.
5. Saring larutan dengan kertas saring medium.
6. Cuci residu dengan HCl.
7. Masukkan filtrat dalam gelas beaker 1000 ml yang mengandung air 400 ml air, 25 ml asam sulfat, 25 ml



asam fosfat, 3 hingga 4 tetes sodium diphenylamine sulphonate.

8. Titrasi dengan larutan potasium dikromat (0.1 N) hingga larutan berwarna hijau gelap. 1 ml 0.1  $K_2Cr_2O_7$  = 0.001862 gram besi metalik, Fe (M)

$$\%Fe (M) = Fe (M) / Fe (T) \times 100 \% \quad (3.8)$$

### 3.5 Rancangan Penelitian

N o	Jenis binde r (gra m)	Bat u kap ur (gra m)	Bat u bara (gra m)	Pasi r besi (gra m)	XR D	SE M	ED X	Deraja t metali sasi (%)	Dera jat Redu ksi (%)
1	Bent onit (2,5)	32,5	25	50	√	√	√	√	√
2	CMC (2,5)	32,5	25	50	√	√	√	√	√
3	Ca(O H) <sub>2</sub> (7,5)	32,5	25	50	√	√	√	√	√





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

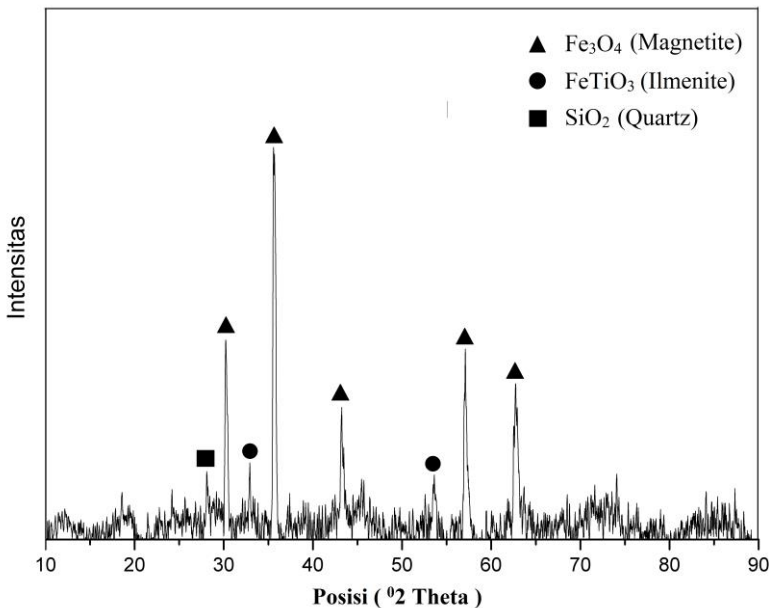
#### 4.1.1 Pasir Besi

Identifikasi dari Pasir Besi dimulai dengan identifikasi unsur dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan alat SEM Panalytical milik Departemen Teknik Material ITS. Hasil pengujian EDX dari pasir besi bisa dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian EDX Konsentrat Pasir Besi

Parameter	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
%Wt	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

Pada hasil pengujian EDX, kadar besi dalam pasir besi masih cukup rendah yaitu 57.93% dan masih banyak unsur seperti silikon, magnesium, Oksida, titanium dan aluminium. Setelah mengetahui kandungan Unsur-unsur yang dominan dalam Konsentrat Pasir besi dilanjutkan dengan Identifikasi Fasa Pasir Besi dengan menggunakan pengujian XRD, dengan menggunakan mesin XRD *PANalytical X'Pert*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$   $10^0$  sampai  $90^0$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Pasir besi yang digunakan berupa konsentrat dan berasal dari Sukabumi, yang telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $397 \mu\text{m}$ . Selanjutnya puncak-puncak dicocokkan dengan kartu dari *software* PDF-2 Release 2011. Hasil pengujian XRD pasir besi Dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Grafik XRD Pasir Besi Sukabumi

Dari hasil pengujian XRD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dapat diketahui fasa dominan yang terdapat pada pasir besi berupa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Selain itu juga terdapat fasa magemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), dan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Kartu JCPDS yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa pada pasir besi yaitu 01-071-6338 (magnetit), 00-004-0755 (maghemit), 01-070-6284 (ilmenit), dan 00-005-0490 (Quartz).

#### 4.1.2 Batubara

Batubara berperan penting menyediakan karbon dalam bertindak sebagai reduktor (gas CO hasil gasifikasi batubara) yang mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe dan  $\text{FeTiO}_3$  menjadi Fe.



Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian yang sangat penting untuk menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> <i>(Moisture)</i>	1.8	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> <i>(Ash)</i>	4.75	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> <i>(Fixed Carbon)</i>	42.35	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang mudah menguap</b> <i>(Volatile Matter)</i>	52.86	%, adb	ASTM D3172-02
<b>Nilai Kalori</b>	7204	Cal/gr, adb	ASTM D5865-03

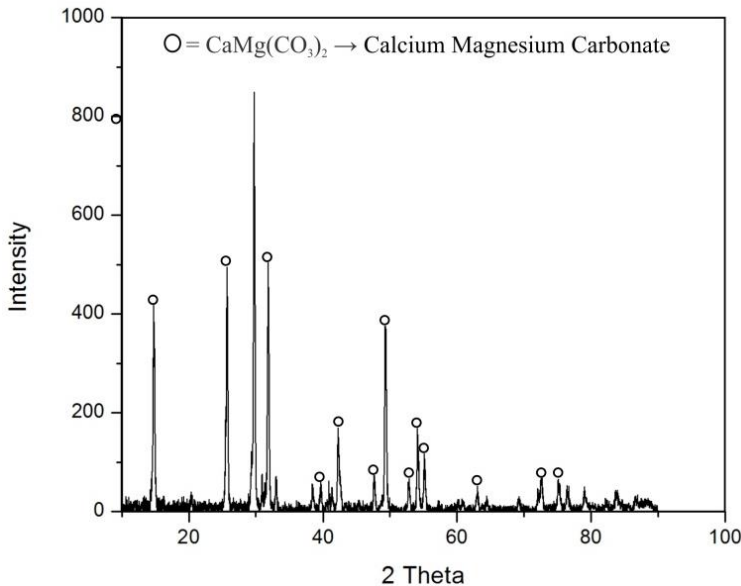
Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan Sub-bituminus. Hasil dari analisa proksimat di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan fluks dan batubara.

#### 4.1.3 Batu Kapur (Dolomit)

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa dolomit yang berasal dari Gresik. Batu kapur telah diayak dengan



ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Batu Kapur

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium Magnesium Carbonate* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Setelah mengetahui fasa dari batu kapur, selanjutnya batu kapur diuji EDX untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada



batu kapur. Sehingga, didapatkan data komposisi batu kapur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian XRF Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

Dari pengujian XRF di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14.30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada Reaksi 2.3

#### 4.1.4 Binder Bentonit

Bentonit merupakan binder inorganik berjenis *clay* dengan komposisi kimia secara umum  $(\text{Mg.Ca})\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.5\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}$ . bentonit merupakan binder yang paling umum digunakan pada aglomerasi serbuk mineral besi oksida. Bentonit digunakan sebagai binder karena ketika dicampur dengan air maka bentonit akan menyerap air tersebut dan menggumpal. Bentonit yang digunakan diuji EDX untuk mengetahui unsur-unsur, hasil pengujian EDX pada sampel bentonit seperti yang tercantum pada Tabel 4.4



**Tabel 4.4** Hasil Pengujian EDX Bentonit

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	2,9
2.	Besi	Fe	13,67
3.	Magnesium	Mg	2,04
4.	Oksigen	O	37,88
5.	Alumunium	Al	9,96
6.	Silikon	Si	25,35
7.	Natrium	Na	2,26

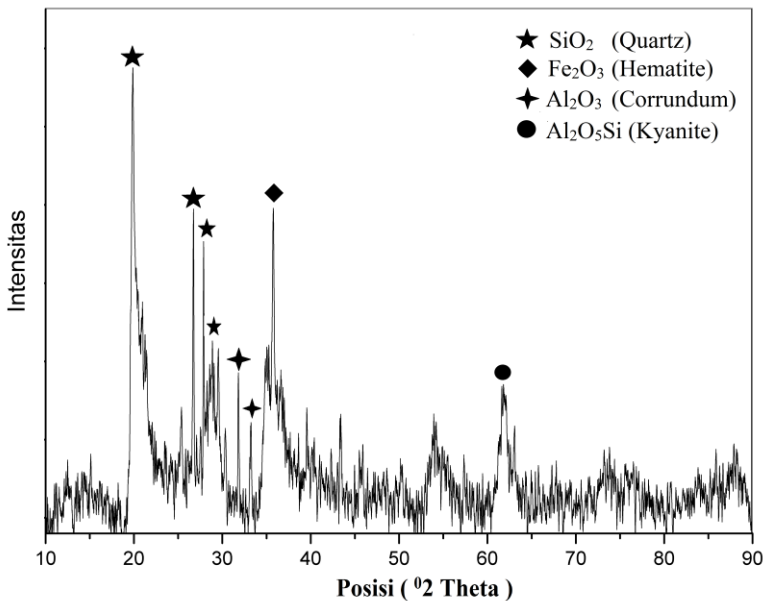
Dari tabel diatas unsur penyusun bentonit yang didominasi oleh oksigen (O) dan silikon (Si). Bentonit dibedakan menjadi dua jenis yaitu kalsium bentonit dan natrium bentonit. Bentonit yang dipakai pada penelitian ini adalah berjenis kalsium bentonit karena kandungan kalsium lebih besar daripada natrium sehingga nilai perbandingan Na-Ca kecil serta warna bentonit ini adalah coklat yang mengindikasikan bahwa bentonit ini adalah kalsium bentonit. Selain silikon dan oksigen unsur yang memiliki persentase yang cukup besar selanjutnya adalah besi (Fe) dan alumunium (Al). Unsur besi didalam bentonit dapat berbentuk senyawa *ferric* dan *ferrous*. Besi sulfid (*pyrite*) dan oksida (hematite) adalah unsur yang kerap kali ada pada banyak tipe bentonit (Lasse dkk, 2008). Bentonit yang digunakan dalam percobaan ini memiliki kemiripan dengan bentonit Dasico yang berasal dari Kutch, India. Bentonit Dasico memiliki bentuk serbuk dan berwarna coklat serta konten besi (Fe) yang tinggi



yaitu 11-13%. Bentonit tersebut memiliki *loss of ignition* (LOI) sebesar 12,27% pada temperatur 1050 °C (Lasse dkk, 2008).

Setelah mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam bentonit melalui uji EDX, selanjutnya bentonit diuji dengan alat uji XRD *PAN analytical* milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk mengidentifikasi senyawa yang terbentuk pada binder bentonit. Pengujian dilakukan dengan posisi sudut difraksi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1,54056 Å.

Grafik Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan JCPDF *card PDF-2 Release 2011*. Dari grafik hasil uji XRD pada Gambar 4.3 diketahui bahwa senyawa dan fasa yang terdapat pada binder bentonit adalah seperti yang tercantum dalam Tabel 4.5



**Gambar 4.3** Grafik Hasil Uji XRD Binder Bentonit





**Tabel 4.5** Senyawa Teridentifikasi Pada Bentonit

Fasa	Rumus Kimia	PDF Number
<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$	00-001-0649
<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	00-024-0072
<i>Corrundum</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3$	00-001-1296
<i>Kyanite</i>	$\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$	00-002-1296

Dari grafik XRD pada Gambar 4.3 Terlihat bahwa senyawa  $\text{SiO}_2$  (Quartz) memiliki puncak difraksi tertinggi yang mengindikasikan senyawa tersebut adalah senyawa yang dominan dan memiliki konsentrasi yang tinggi di dalam bentonit. Hasil tersebut sesuai dengan hasil uji EDX sampel bentonit dimana unsur Silikon (Si) dan Oksigen (O) merupakan unsur penyusun bentonit yang dominan. Selain itu terdapat pula senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematite) yang memiliki puncak tertinggi kedua setelah  $\text{SiO}_2$  yang mengindikasikan konsentrasi senyawa tersebut cukup tinggi di dalam bentonit. Hal tersebut sesuai dengan uji EDX dimana unsur Fe (besi) memiliki konten kedua tertinggi setelah unsur Si (Silikon). Kemudian teridentifikasi pula senyawa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Corrundum) dan  $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$  (Kyanite). Senyawa  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan impuritas yang bersifat asam dan dapat berefek negatif dalam pembuatan besi dan baja karena akan menambah jumlah *slag* yang dihasilkan ketika proses peleburan. Oleh karena itu dosis penggunaan bentonit sebagai binder pada proses aglomerasi bijih besi maupun pasir besi sebaiknya tidak terlalu banyak.

#### 4.1.5 Binder Karboksimetilselulosa (CMC)

Karboksimetilselulosa (CMC) merupakan salah satu turunan dari selulosa yang berfungsi sebagai pengental karena apabila CMC dicampur dengan air maka viskositas air tersebut akan naik. CMC telah digunakan pada proses peletisasi bijih besi



dan menghasilkan sifat mekanik dan metalurgis pelet yang cukup baik. CMC terbuat dari bahan organik sehingga tidak akan mencemari produk akhir pelet. CMC yang digunakan pada percobaan ini diuji EDX untuk mengetahui unsur penyusunnya. Unsur yang terkandung didalam binder CMC ditunjukkan oleh hasil uji EDX pada Tabel 4.2

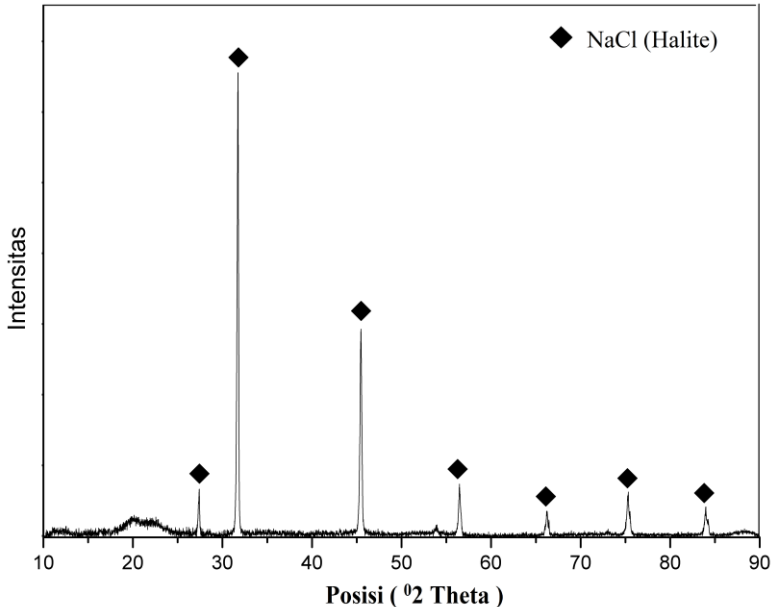
**Tabel 4.6** Hasil Pengujian EDX CMC Teknis

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Karbon	C	27,7
2.	Natrium	Na	23,87
3.	Oksigen	O	29,66
4.	Klorin	Cl	17,48

Pada tabel diatas terlihat bahwa unsur penyusun utama CMC adalah karbon, natrium, dan oksigen. Hal ini karena rumus kimia umum dari CMC adalah  $\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{COONa}$ . Unsur klorin (Cl) yang cukup tinggi menunjukkan bahwa CMC ini adalah *grade* teknis karena CMC ini tidak melalui proses pemurnian yang lebih lanjut sehingga unsur klorin masih ada yang dimana unsur tersebut berasal dari asam monoklorasetat (MCA) dengan rumus kimia  $\text{ClCH}_2\text{-COOH}$ . Setelah mengetahui unsur yang terkandung dalam binder CMC, selanjutnya binder CMC dikarakterisasi menggunakan alat uji XRD *PAN analytical* milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk mengidentifikasi senyawa yang terbentuk pada binder CMC. Pengujian dilakukan dengan posisi sudut difraksi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar



1,54056 Å. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan JCPDF card PDF-2 Release 2011.



**Gambar 4.4** Grafik Hasil uji XRD Binder CMC

Dari grafik hasil uji XRD sampel binder CMC pada Gambar 4.4 terlihat bahwa senyawa yang paling dominan dan memiliki konsentrasi yang tinggi NaCl dengan nama senyawa Halite. nomor referensi kartu JCPDF yang digunakan yaitu 00-005-0628 (Halite). NaCl diperoleh dari reaksi *mercerization* dan *etherification* pada proses pembuatan CMC teknis. Selulosa direaksikan dengan NaOH dan asam monokloroasetat ( $\text{ClCH}_2\text{COOH}$ ) sehingga menghasilkan karboksimetilselulosa, natrium klorida (NaCl), dan air. Keberadaan senyawa elektrolit seperti NaCl dapat meningkatkan viskositas dari CMC, semakin tinggi konsentrasi elektrolit maka semakin tinggi pula viskositas



CMC. peningkatan konsentrasi elektrolit lebih besar pengaruhnya pada CMC dengan *grade* viskositas yang tinggi (CP Kelco, 2009).

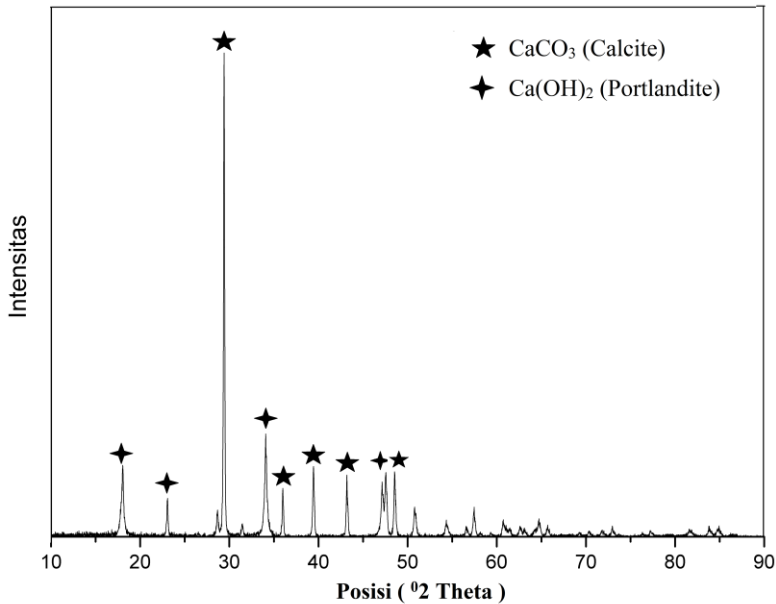
#### 4.1.6 Binder Kalsium Hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )

Kalsium hidroksida diuji EDX untuk mengetahui persentase unsur penyusunnya. Unsur penyusun yang terdapat pada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ditunjukkan oleh Tabel 4.3

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian EDX Kalsium Hidroksida Teknis

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Karbon	C	2,92
2.	Kalsium	Ca	62,75
3.	Oksigen	O	32,7

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa unsur penyusun utama kalsium hidroksida adalah kalsium (Ca) dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) serta terdapat pula unsur karbon (C). Setelah mengetahui unsur yang terdapat pada binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  selanjutnya binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dikarakterisasi menggunakan alat uji XRD *PAN analytical* milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk mengidentifikasi senyawa yang terbentuk pada binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Pengujian dilakukan dengan posisi sudut difraksi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Grafik hasil uji XRD binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adalah seperti yang ditampilkan oleh Gambar 4.5



**Gambar 4.5** Grafik Hasil uji XRD Binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

**Tabel 4.8** Senyawa Teridentifikasi pada Binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Fasa	Rumus Kimia	PDF Number
<i>Calcite</i>	$\text{CaCO}_3$	00-005-0586
<i>Portlandite</i>	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	00-001-1079

Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan JCPDF card PDF-2 Release 2011. Dari grafik hasil XRD sampel kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) diketahui bahwa senyawa yang teridentifikasi adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan struktur kristal *calcite* serta  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (portlandite). Kalsium karbonat memiliki puncak dengan intensitas paling tinggi yang menandakan konsentrasi senyawa tersebut tinggi. Tingginya



konsentrasi kalsium karbonat diduga dikarenakan reaksi karbonasi kalsium hidroksida dengan reaksi sebagai berikut.



$\text{Ca(OH)}_2$  (portlandite) menunjukkan reaktivitas yang kuat dengan karbon dioksida, dan dapat terekristalisasi menjadi *calcite* pada waktu yang singkat (Regnault dkk, 2005; Gu dkk, 2006). Reaksi karbonasi ditentukan oleh kelembapan relatif, temperatur, dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  (Moorehead, 1986). Kelembapan relatif kurang dari 8% tidak memungkinkan terjadinya reaksi karbonasi kalsium hidroksida menjadi *calcite* (Shih dkk, 1999). Kalsium hidroksida secara berangsur-angsur bereaksi dengan karbon dioksida yang ada di udara membentuk kalsium karbonat (*Hydrated lime* MSDS, 2012). Reaksi karbonasi pada kondisi natural berlangsung dalam waktu yang cukup lama. Oleh karena itu diperkirakan kalsium hidroksida yang dipakai pada percobaan ini telah disimpan dalam waktu yang cukup lama di dalam gudang penyimpanan yang kelembapan dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  nya memungkinkan untuk terjadinya reaksi karbonasi  $\text{Ca(OH)}_2$ .

#### **4.2 Pengaruh Jenis Binder terhadap Derajat Reduksi dan Perolehan Fe Total Briket Hasil Reduksi**

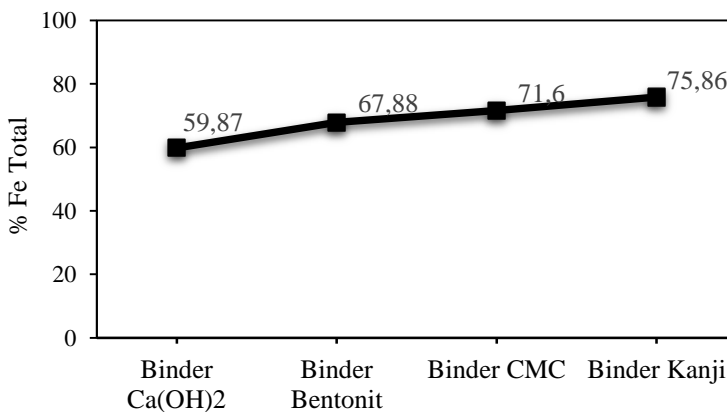
Binder berfungsi sebagai pengikat antar partikel pasir besi agar pasir besi dapat dibentuk menjadi briket. Variasi jenis binder yang digunakan pada percobaan ini akan mempengaruhi kadar Fe pada briket pasir besi hasil proses reduksi karena setiap binder mempunyai tipe ikatan yang berbeda serta komposisi kimia yang berbeda pula. Untuk mengetahui binder yang tepat untuk reduksi briket pasir besi maka dilakukan penelitian dengan memvariasikan jenis binder yang digunakan pada pembuatan briket pasir besi. Sampel briket hasil reduksi kemudian diuji dengan alat EDX untuk mengetahui unsur dan presentase unsur yang terkandung dalam briket setelah proses reduksi.



Data hasil uji EDX briket pasir besi setelah proses reduksi tercantum dalam Tabel 4.9. Apabila persentase unsur Fe dari Tabel 4.9 Diubah kedalam bentuk grafik maka hasilnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7.

**Tabel 4.9** Komposisi Unsur pada Briket Hasil Reduksi

Variabel	Unsur (%)							
	Fe	Na	Mg	Ca	Al	Si	Ti	Mn
<b>Binder Kanji</b>	75,86	-	1,72	2,95	3,64	6,72	5,31	-
<b>Binder CMC</b>	71,6	0,66	2,46	3,75	4,87	4,04	11,02	0,91
<b>Binder Bentonit</b>	67,88	0,86	2,61	2,51	4,28	4,95	13,73	1,39
<b>Binder Ca(OH)<sub>2</sub></b>	59,87	1,72	2,97	13,36	5,39	5,75	11,14	0,83

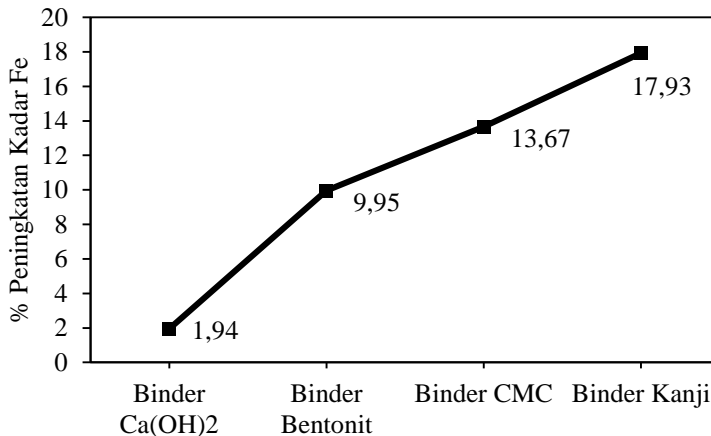


**Gambar 4.6** Pengaruh Jenis Binder terhadap Kadar Fe Total

Kemudian apabila kadar Fe total setelah reduksi dibandingkan dengan kadar Fe total pasir besi sebelum proses



reduksi yaitu sebesar 57,93 % maka akan diperoleh tren persentase peningkatan kadar Fe seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8



**Gambar 4.7** Pengaruh Binder terhadap Peningkatan Kadar Fe

Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh Tabel 4.9, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7 Telah terjadi peningkatan kadar Fe Total setelah proses reduksi jika dibandingkan dengan kadar Fe Total sebelum proses reduksi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa telah terjadi reduksi mineral besi oksida maupun oksida besi titanium oleh gas karbon monoksida yang merupakan hasil dari reaksi gasifikasi karbon dan gas karbon dioksida atau yang biasa disebut reaksi boudouard. Kadar Fe Total Briket pasir besi yang paling besar adalah briket dengan binder kanji sedangkan yang terendah adalah briket dengan binder Kalsium Hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$ . Binder kanji merupakan binder organik yang mempunyai *loss of ignition* (LOI) sebesar 87-100 % pada temperatur 1000 °C (Eisele, 2013) sehingga apabila temperatur telah melebihi 1000 °C maka dapat dipastikan binder Kanji akan

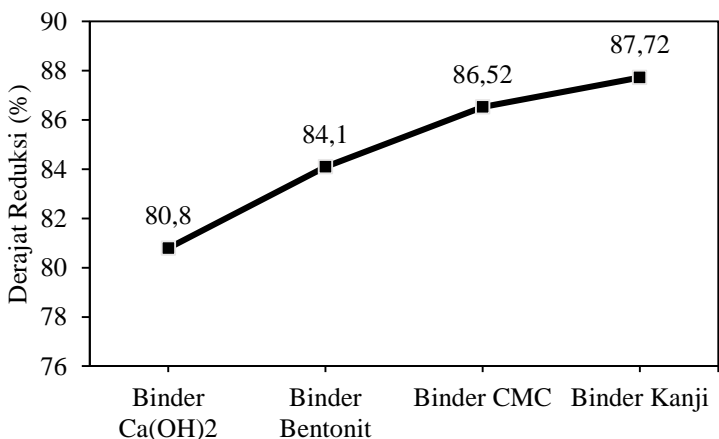




menguat dan tidak lagi memberi ikatan pada partikel-partikel pasir besi. Hal yang sama terjadi pada briket berbinder karboksimetil selulosa (CMC) yang merupakan binder organik pula. CMC mempunyai *loss of ignition* sebesar 83 – 95% pada temperatur 1000 °C (Eisele, 2013).

**Tabel 4.10** Pengaruh Variasi Binder terhadap Derajat Reduksi

No.	Sampel	Derajat Reduksi (%)
1.	Briket Kanji	87,72
2.	Briket CMC	86,52
3.	Briket Bentonit	84,1
4.	Briket Ca(OH) <sub>2</sub>	80,8



**Gambar 4.8** Pengaruh Binder Terhadap Derajat Reduksi Briket



Pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.10 Terlihat bahwa binder CMC dan Kanji yang merupakan binder organik memiliki derajat reduksi yang lebih tinggi daripada binder  $\text{Ca(OH)}_2$  dan bentonit yang merupakan binder inorganik. hasil tersebut sesuai dengan data hasil perolehan Fe Total pada Tabel 4.9 dimana briket yang memiliki perolehan Fe total yang tertinggi memiliki derajat nilai reduksi yang tinggi pula dan sebaliknya. Menguapnya binder organik menyebabkan rongga-rongga yang awalnya diisi oleh binder menjadi kosong sehingga porositas briket meningkat (Panigrahy dkk, 1990) hal tersebut menyebabkan difusi gas karbon monoksida kedalam briket menjadi mudah sehingga mineral oksida besi yang ada pada briket dapat tereduksi secara merata dan mineral besi oksida yang dapat direduksi gas CO semakin banyak dan berdampak pada perolehan kadar Fe Total setelah proses reduksi dan derajat reduksi semakin tinggi.

Binder  $\text{Ca(OH)}_2$  merupakan binder yang mempunyai tipe ikatan *chemical matrix*. Binder yang memiliki Tipe ikatan tersebut akan membentuk matriks kontinu yang akan bereaksi secara kimia dan akan mengeras serta tipe ikatan ini bersifat *irreversible* (Eisele, 2013). Binder  $\text{Ca(OH)}_2$  perlahan-lahan akan mengeras karena dapat bereaksi dengan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang terdapat pada udara bebas pada konsentrasi dan kelembapan tertentu untuk membentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Moorehead, 1986).  $\text{Ca(OH)}_2$  memiliki *loss of ignition* (LOI) sekitar 27 % pada temperatur 1300 °C (Garea dkk, 1996). fakta tersebut menunjukkan bahwa massa  $\text{Ca(OH)}_2$  belum sepenuhnya hilang setelah proses reduksi melainkan hanya terdekomposisi. Hal tersebut didukung oleh hasil uji EDX pada Tabel 4.9 dimana briket  $\text{Ca(OH)}_2$  memiliki konten Kalsium (Ca) yang tertinggi.

$\text{Ca(OH)}_2$  akan terdekomposisi menjadi Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ) dan air pada temperatur 580 °C (*Hydrated lime* MSDS, 2012) sehingga rongga-rongga yang terbentuk menjadi minim karena masih terisi oleh Kalsium Oksida sehingga porositas yang terbentuk pun kecil. Hal tersebut tentunya menghambat difusi gas reduktor CO kedalam briket sehingga derajat reduksinya pun



rendah. Selain itu dosis penggunaan binder  $\text{Ca(OH)}_2$  yang tinggi yaitu sebesar 15% diduga turut mempengaruhi tidak maksimalnya proses reduksi, hal ini dikarenakan binder  $\text{Ca(OH)}_2$  merupakan material *cementious*. Diketahui dosis binder *cementious* yang dibutuhkan untuk memenuhi standar kekuatan pelet dingin untuk industri adalah lebih dari 10% (Adolfo dkk, 2013). Dampak negatif binder  $\text{Ca(OH)}_2$  terhadap porositas juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmed dan Mohammed (Ahmed dan Mohammed, 2005) yaitu mengenai pengaruh penggunaan binder  $\text{Ca(OH)}_2$  dan bentonit pada sifat fisika dan kimia pelet bijih besi. Dalam percobaan tersebut teridentifikasi bahwa penambahan  $\text{Ca(OH)}_2$  dengan dosis sebanyak 4% dapat menurunkan porositas dari pelet bijih besi sehingga menurunkan nilai derajat reduksi yang berdampak pada lebih lamanya proses reduksi.

Binder bentonit merupakan binder inorganik berjenis *clay* yang memiliki ikatan seperti keramik pada temperatur tinggi. Bentonit memiliki *loss of ignition* sebesar 18% pada temperatur  $1200^\circ\text{C}$  (Sarkar, 2016). Hal tersebut menunjukkan bahwa hingga akhir proses reduksi bentonit tidak akan sepenuhnya hilang dari briket dan masih mengisi rongga-rongga antar partikel pada briket yang tentunya mengurangi porositas dari briket. Selain itu Bentonit merupakan silikat yang memiliki temperatur leleh yang rendah yaitu  $1330\text{--}1430^\circ\text{C}$  (Grim, 1978). Fasa likuid (mengacu pada bentonit) membasahi partikel-partikel, membungkus dan kwarsa yang meleleh, dan menarik partikel-partikel dan meningkatkan densitas pelet. Oleh karena itu difusi gas CO kedalam briket menjadi tidak maksimal yang berdampak tidak maksimalnya reduksi besi oksida maupun oksida besi titan di dalam briket sehingga derajat reduksi nya pun berkurang. Selain itu tingginya unsur *gangue material* seperti Silikon sebanyak 25,35% dan alumunium sebanyak 9,96% berpotensi menghasilkan fasa slag yang lebih banyak pada permukaan partikel yang dimana fasa slag tersebut dapat menghalangi laju reduksi dan pertumbuhan fasa Fe pada briket. Kemudian



impuritas silikon dan alumunium tersebut menyebabkan rendahnya *grade* Fe yang diperoleh serta menurunkan *reducibility* (Yufeng Guo, 2015). Namun apabila dilihat dari hasil uji EDX pada Tabel 4.9 konten Silikon (Si) dan Alumunium (Al) pada briket bentonit tidak terlalu tinggi apabila dibandingkan dengan sampel briket lainnya, hal tersebut mengindikasikan bahwa dosis penggunaan binder bentonit sebesar 5% masih dalam level aman.

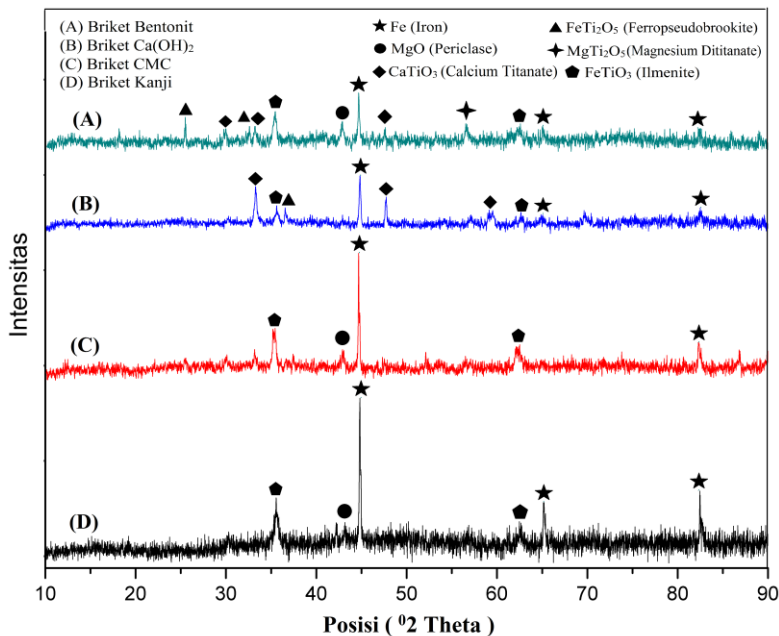
### 4.3 Pengaruh Jenis Binder terhadap Fasa yang Terbentuk pada Briket Hasil Reduksi

Identifikasi fasa yang terbentuk pada briket pasir besi dengan variasi jenis binder yang telah melalui proses reduksi dilakukan dengan menggunakan alat uji XRD *PAN Analytical* milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sudut difraksi yang dipakai adalah pada posisi  $2\theta$   $10 - 90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Selanjutnya grafik difraksi hasil uji XRD dianalisa menggunakan *JCPDF card PDF-2 Release 2011*.

Dari Gambar 4.9 Terlihat adanya perbedaan grafik XRD dari masing-masing sampel briket, fasa senyawa yang teridentifikasi pada briket hasil reduksi oleh alat XRD adalah sebagaimana yang tercantum dalam Tabel 4.11 Puncak difraksi tertinggi pada keempat grafik sampel briket adalah Fe (*iron*), hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi Fe metal didalam briket pasir besi tinggi dan menandakan bahwa telah terjadi reduksi besi oksida maupun oksida besi titan oleh gas CO. meskipun begitu puncak difraksi senyawa pengotor masih teridentifikasi pada seluruh grafik sampel, hal ini memang tidak bisa dihindari pada proses reduksi langsung karena produk yang dihasilkan yaitu *sponge iron* adalah produk *solid state* yang merupakan campuran antara besi metal dan pengotornya. Meskipun begitu puncak difraksi senyawa pengotor masih teridentifikasi pada seluruh grafik sampel, hal ini memang tidak bisa dihindari pada proses reduksi langsung karena produk yang dihasilkan yaitu *sponge iron* adalah produk *solid state* yang merupakan campuran antara



besi metal dan pengotornya. Namun apabila dibandingkan, Grafik A (Binder Bentonit) dan grafik B (Binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) memiliki lebih banyak puncak difraksi senyawa pengotor yang mengindikasikan bahwa senyawa pada binder tersebut ikut bereaksi dengan senyawa-senyawa pada pasir besi sehingga mengganggu proses reduksi atau senyawa pada binder tersebut mengkontaminasi produk akhir reduksi. Seperti yang telah dibahas sebelumnya pada bab ini bahwa binder bentonit dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  merupakan jenis binder inorganik yang tidak sepenuhnya hilang hingga akhir proses reduksi.



**Gambar 4.9** Grafik Hasil Uji XRD pada Briket Hasil Reduksi dengan Variasi Jenis Binder



**Tabel 4.11** Fasa Teridentifikasi pada Briket Hasil Reduksi

<b>Fasa</b>	<b>Rumus Kimia</b>	<b>PDF Number</b>
<i>Iron</i>	Fe	00-006-0696
<i>Periclase</i>	MgO	00-071-1176
<i>Perovskite</i>	CaTiO <sub>3</sub>	01-075-0437
<i>Ferropseudobrookite</i>	FeTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	01-089-8065
<i>Magnesium Dititanate</i>	MgTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	00-020-0694
<i>Ilmenite</i>	FeTiO <sub>3</sub>	00-002-0880

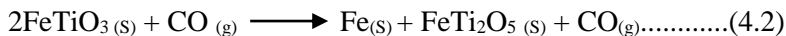
Sementara grafik C (Briket CMC) dan grafik D (briket kanji) memiliki sedikit senyawa pengotor dan puncak difraksi yang dihasilkan relatif serupa. Hal tersebut dikarenakan binder kanji dan CMC merupakan binder organik yang habis terbakar pada temperatur 1000 °C sehingga binder tersebut tidak mengkontaminasi produk akhir reduksi.

#### **a. Analisis Hasil XRD Grafik A (Binder Bentonit)**

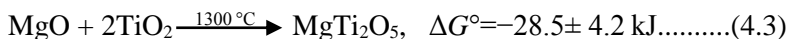
Pada grafik A Senyawa-senyawa pengotor yang teridentifikasi diantaranya adalah MgO (periclase), teridentifikasinya puncak difraksi senyawa MgO diduga berasal dari impuritas pasir besi, karena menurut hasil EDX, pasir besi mengandung unsur Mg dan berasal dari bentonit itu sendiri karena berdasarkan hasil XRD, bentonit mengandung senyawa MgO. Oleh karena itu puncak difraksi senyawa MgO pada briket bentonit sedikit lebih tinggi daripada sampel lainnya yang menandakan konsentrasi senyawa tersebut lebih besar pada briket bentonit daripada sampel briket lainnya. MgO merupakan senyawa impuritas yang memiliki efek negatif terhadap reduksi oksida besi. MgO mengurangi laju reduksi dari besi oksida dan



mencegah reduksi oksida besi didalam ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ) hal tersebut disebabkan pergantian ion  $\text{Fe}^{2+}$  oleh  $\text{Mg}^{2+}$  sehingga proses reduksi menjadi lebih sulit (Merk dan Pickles, 1988). Kemudian senyawa pengotor selanjutnya adalah  $\text{FeTiO}_3$  (ilmenit). Munculnya puncak difraksi ilmenit diduga dikarenakan pengaruh senyawa  $\text{MgO}$  seperti yang telah dibahas sebelumnya. Selain itu laju reduksi besi oksida dari senyawa ilmenit memang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan oksida besi natural (Merk dan Pickles, 1988). Selain itu ilmenit merupakan senyawa kristalin yang stabil pada temperatur likuidus ( $1100\text{-}1350\text{ }^\circ\text{C}$ ) sehingga pada temperatur tersebut senyawa ilmenit kerap kali ada (Liu., dkk, 2016 ; Kimura dan Muan, 1971). Masih munculnya fasa ilmenit di dalam briket bentonit setelah reduksi mengindikasikan bahwa proses reduksi masih belum maksimal untuk mereduksi besi oksida dari ilmenit. Kemudian senyawa pengotor berikutnya adalah  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  (Ferropseudobrookite). Senyawa tersebut muncul diduga dikarenakan terjadinya reaksi kimia antara ilmenit dan gas CO pada temperatur  $1200\text{-}1350\text{ }^\circ\text{C}$ , reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Liu dkk, 2016) :



Selain itu munculnya senyawa  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  dipengaruhi oleh terbentuknya senyawa  $\text{MgTi}_2\text{O}_5$  (Magnesium Dtitanate) dari reaksi kimia antara  $\text{MgO}$  dan  $\text{TiO}_2$  pada temperatur  $1300\text{ }^\circ\text{C}$  seperti yang tercantum pada persamaan 4.3 (Suzuki dan Shinoda, 2011).



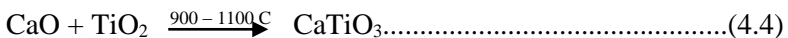
$\text{MgTi}_2\text{O}_5$  merupakan senyawa dengan struktur yang sama seperti  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  yaitu pseudobrookite. Struktur tersebut stabil pada temperatur tinggi, selain itu senyawa  $\text{MgTi}_2\text{O}_5$  berperan sebagai “*Pseudobrookite stabilizer*” (Suzuki dan Shinoda, 2011) yang menyebabkan senyawa pseudobrookite tidak mudah



terdekomposisi pada temperatur tinggi. Hal tersebut tentunya berdampak negatif pada proses reduksi besi titanium karena akan mengurangi perolehan Fe pada produk akhir. Kemudian senyawa pengotor yang terakhir adalah  $\text{CaTiO}_3$  (Kalsium Titanat).

#### **b. Analisis Hasil XRD Grafik B (Binder $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )**

Puncak difraksi senyawa pengotor yang teridentifikasi pada grafik B antara lain adalah  $\text{MgO}$  (Periclase),  $\text{FeTiO}_3$  (Ilmenite),  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  (Ferroseudobrookite), dan  $\text{CaTiO}_3$  (Kalsium Titanat). Munculnya puncak difraksi senyawa  $\text{MgO}$  diduga berasal dari impuritas unsur Mg didalam pasir besi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa  $\text{MgO}$  memiliki efek negatif terhadap proses reduksi oksida besi maupun oksida besi titanium pada pasir besi, hal tersebut menyebabkan senyawa  $\text{FeTiO}_3$  tidak tereduksi dengan maksimal oleh gas  $\text{CO}$ . Disamping itu mereduksi Fe dari  $\text{FeTiO}_3$  memang sedikit lebih sulit dibanding dengan oksida besi natural sehingga fasa  $\text{FeTiO}_3$  biasanya masih ada pada akhir proses reduksi. Tidak maksimalnya reduksi  $\text{FeTiO}_3$  menyebabkan terbentuknya fasa  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$  sebagai hasil dari reaksi  $\text{FeTiO}_3$  dengan gas  $\text{CO}$  seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 4.2. seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa senyawa pseudobrookite merupakan senyawa kristalin yang termasuk stabil pada temperatur likuidus ( $1100\text{--}1350\text{ }^\circ\text{C}$ ). Oleh karena itu munculnya senyawa-senyawa pengotor tersebut menandakan bahwa proses reduksi pada briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  belum maksimal. Senyawa pengotor yang memiliki konsentrasi paling tinggi pada briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adalah  $\text{CaTiO}_3$  (Kalsium Titanat) hal tersebut ditunjukkan oleh cukup tinggi nya puncak difraksi senyawa tersebut yang teridentifikasi.  $\text{CaTiO}_3$  terbentuk dari reaksi antara Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ) dan rutil ( $\text{TiO}_2$ ) pada di rentang temperatur  $900\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$  dengan reaksi sebagaimana yang tercantum pada Persamaan 4.4







CaO dihasilkan dari reaksi dekomposisi binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada temperatur  $580^\circ\text{C}$  dan  $\text{TiO}_2$  dihasilkan dari reaksi reduksi  $\text{FeTiO}_3$  (ilmenit) oleh gas CO.  $\text{CaTiO}_3$  merupakan senyawa kristalin yang termasuk stabil pada temperatur likuidus yaitu pada rentang temperatur  $1100\text{--}1350^\circ\text{C}$ . Produk dari reaksi dari CaO dan  $\text{FeTiO}_3$  pada kondisi atmosfer reduksi adalah fasa ulvospinel dan kalsium titanat atau fasa besi metal dan kalsium titanat (Kimura dan Muan, 1971). Tingginya konsentrasi  $\text{CaTiO}_3$  diduga disebabkan oleh tingginya dosis penggunaan binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang digunakan yaitu 15%. Ketika temperatur operasi telah mencapai temperatur sintering CaO solid berkontak dengan partikel pasir besi,  $\text{TiO}_2$  berdifusi permukaan, sementara CaO berdifusi kedalam menuju ke bagian tengah. Ketika CaO terakumulasi hingga mencapai konsentrasi tertentu, maka CaO akan bereaksi dengan  $\text{TiO}_2$  disebabkan oleh afinitas kimia kedua senyawa untuk membentuk fasa Kalsium Titanat (Zhe Wang dkk, 2015). Terbentuknya Senyawa  $\text{CaTiO}_3$  diduga menghambat proses reduksi karena baik CaO dan  $\text{TiO}_2$  merupakan impuritas yang berpengaruh negatif pada reduksi pasir besi. CaO menghambat difusi gas CO kedalam briket pasir besi ketika reaksi reduksi berlangsung (Merk dan Pickles, 1988) hal tersebut tentunya berdampak pada berkurangnya perolehan Fe Total pada akhir reduksi, hal tersebut terbukti pada hasil uji EDX briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dimana perolehan Fe Total nya adalah yang paling rendah. Sementara  $\text{TiO}_2$  menyebabkan degradasi reduksi pada oksida besi dan ketika membentuk larutan padat di dalam magnetit,  $\text{TiO}_2$  meningkatkan laju oksidasi besi oksida (Timo dan Kimmo, 2009).

### **c. Analisis Hasil XRD Grafik C (Binder CMC)**

Pada grafik C dapat dilihat bahwa hanya sedikit puncak difraksi senyawa pengotor yang teridentifikasi dan tidak ada pula senyawa yang mengandung natrium (Na) dan Klorin (Cl) yang merupakan unsur penyusun yang paling dominan pada CMC. Hal tersebut mengindikasikan bahwa binder CMC tidak



mengkontaminasi briket pasir besi atau unsur di dalam CMC tidak bereaksi dengan unsur-unsur yang ada dalam pasir besi untuk membentuk senyawa yang dapat menghambat proses reduksi. Meskipun begitu masih teridentifikasinya senyawa pengotor  $\text{FeTiO}_3$  menandakan bahwa proses reduksi masih belum cukup maksimal untuk mereduksi senyawa tersebut. Selain itu seperti pada grafik XRD dua briket sebelumnya puncak difraksi senyawa  $\text{MgO}$  pun teridentifikasi pada grafik C. Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa  $\text{MgO}$  mencegah reduksi besi oksida didalam  $\text{FeTiO}_3$ , fenomena tersebut diduga terjadi pada briket berbinder CMC sehingga puncak difraksi ilmenit masih muncul.

#### **d. Analisis Hasil XRD Grafik D (Binder Kanji)**

Sama hal nya dengan grafik C, grafik D yaitu hasil XRD briket berbinder kanji pun memiliki sedikit puncak difraksi senyawa pengotor. Mengindikasikan bahwa binder kanji tidak mengkontaminasi maupun membentuk senyawa yang menghambat proses reduksi pasir besi, hal ini disebabkan karena kanji merupakan binder organik seperti hal nya CMC yang menguap habis pada temperatur  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Puncak difraksi senyawa pengotor yang teridentifikasi pun serupa dengan briket berbinder CMC yaitu  $\text{MgO}$  dan  $\text{FeTiO}_3$ . Namun yang membedakan grafik C dan D adalah jumlah puncak difraksi Fe yang teridentifikasi. Pada grafik D jumlah puncak difraksi Fe yang muncul ada 3 puncak sementara pada grafik C hanya 2 puncak difraksi Fe yang muncul. Hal tersebut mengindikasikan bahwa konsentrasi Fe didalam briket berbinder kanji lebih tinggi dibanding pada briket berbinder CMC serta proses reduksi pada briket berbinder kanji lebih baik dibanding briket berbinder CMC. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji EDX Briket berbinder Kanji dan Briket berbinder CMC dimana briket berbinder kanji memiliki perolehan Fe total yang lebih tinggi.



#### 4.4 Pengaruh Variasi Binder terhadap Derajat Metalisasi Briket Pasir Besi Hasil Reduksi

Derajat metalisasi didefinisikan sebagai derajat yang menyatakan jumlah atau persentase Fe yang telah berfasa metalik terhadap kadar Fe total yang ada pada *sponge iron*. Hasil pengujian derajat metalisasi antara lain seperti yang tercantum pada Tabel 4.12. Apabila nilai derajat metalisasi di plot kedalam grafik maka pengaruh jenis binder terhadap derajat metalisasi briket seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Dari Tabel 4.12 Dapat dilihat bahwa briket yang memiliki derajat metalisasi tertinggi adalah briket berbinder bentonit sementara yang terendah adalah briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

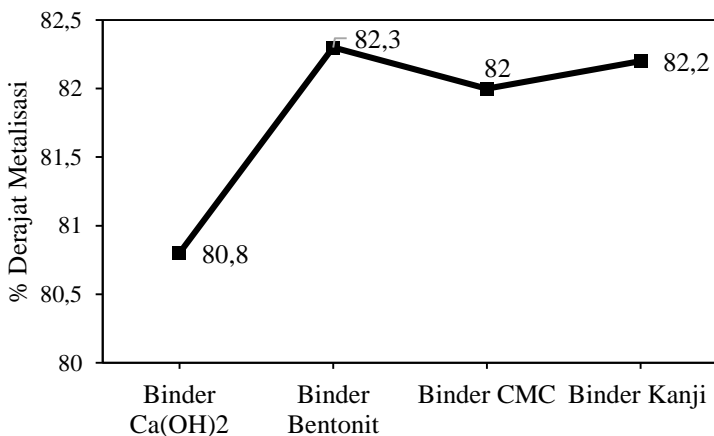
**Tabel 4.12** Pengaruh Binder terhadap Derajat Metalisasi Briket

No.	Sampel	Fe Total (%)	Derajat Metalisasi (%)
1.	Briket Kanji	75,86	82,2
2.	Briket CMC	71,6	82
3.	Briket Bentonit	67,88	82,3
4.	Briket $\text{Ca}(\text{OH})_2$	59,875	80,8

Tingginya Derajat metalisasi briket bentonit diduga disebabkan fasa Fe metalik yang menyebar merata di seluruh bagian briket baik area metalik maupun area berpori. Sehingga walaupun perolehan Fe total briket bentonit bukanlah yang paling tinggi namun sebenarnya kandungan Fe metalik di briket bentonit cukup tinggi hanya saja tidak teraglomerasi sepenuhnya membentuk daerah metalik. Suharto dkk pernah melakukan penelitian reduksi pelet bijih besi lokal di dalam *rotary kiln* menggunakan binder bentonit dan kanji, hasil yang diperoleh



adalah pelet berbinder bentonit dengan temperatur reduksi sebesar 1200 °C memiliki derajat metalisasi terbesar yaitu 95,31 % (Suharto dkk, 2013). Hal tersebut menunjukkan bahwa binder bentonit dapat meningkatkan derajat metalisasi *sponge iron*. Kemudian untuk briket berbinder kanji nilai metalisasi yang diperoleh lebih tinggi sedikit dari briket berbinder CMC hal tersebut diduga karena briket berbinder kanji memiliki perolehan Fe Total yang lebih tinggi dari briket berbinder CMC. Rendahnya derajat metalisasi Briket berbinder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  diduga dikarenakan tingginya fasa  $\text{CaTiO}_3$  (kalsium titanat) yang terbentuk pada briket sehingga menghambat pertumbuhan fasa Fe metalik dan rendahnya perolehan Fe Total pada akhir reduksi.



**Gambar 4.10** Pengaruh Variasi Binder Terhadap Derajat Metalisasi

Jika diperhatikan derajat metalisasi yang dimiliki oleh semua briket berada pada kisaran 80%. Nilai derajat metalisasi tersebut memang wajar pada proses reduksi langsung pasir besi karena berdasarkan penelitian Haoyan Sun Dkk pada tahun 2016 mengenai reduksi langsung pasir besi titanomagnetit menggunakan gas CO, diperoleh hasil derajat metalisasi pasir besi



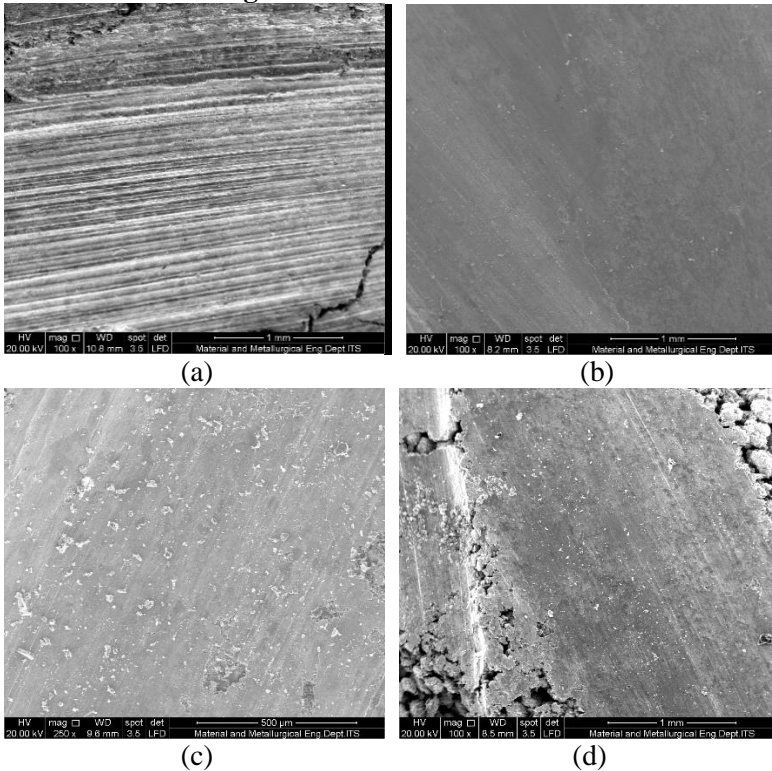
yang direduksi oleh gas CO dengan konsentrasi sebesar 94% pada temperatur 850 °C adalah sebesar 83,95% (Haoyan Sun dkk, 2016). Pada percobaan ini kemungkinan terbentuk atmosfer gas CO dengan konsentrasi sebesar 94% cukup kecil namun temperatur yang digunakan tergolong tinggi yaitu 1350 °C, tingginya temperatur operasi diduga berperan meningkatkan derajat metalisasi briket meskipun konsentrasi gas CO tidak terlalu tinggi.

#### **4.5 Pengaruh Variasi Jenis Binder terhadap Morfologi Briket Hasil Reduksi**

Penggunaan variasi jenis binder pada briket pasir besi tentunya akan mempengaruhi morfologi briket hasil proses reduksi yang dihasilkan karena setiap binder memiliki tipe ikatan yang berbeda-beda. Untuk mengetahui morfologi setiap briket maka perlu dilakukan pengujian. Alat Pengujian yang dapat mengidentifikasi morfologi tiap-tiap briket adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pada percobaan ini setiap briket dipreparasi untuk membuat sampel yang terdiri dari dua daerah yaitu daerah metalik dan daerah berpori untuk selanjutnya dua daerah tersebut diobservasi menggunakan SEM. Pengujian morfologi briket dilakukan dengan menggunakan alat uji SEM milik Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Perbesaran yang digunakan antara lain untuk daerah metalik ialah 100x sementara daerah berpori ialah 250x dan 3000x. Tujuan dari dipilihnya angka perbesaran-perbesaran adalah pada area metalik perbesaran 100x dianggap cukup dalam menampilkan area metalik yang terbentuk karena morfologi area metalik yang terbentuk pada keempat briket relatif sama. kemudian untuk daerah berpori dipilih perbesaran 250x yaitu dengan tujuan agar dapat mengetahui bentuk interaksi antar partikel yang dari interaksi tersebut terbentuk sebuah morfologi yang khas. Kemudian perbesaran 3000x pada daerah berpori adalah untuk mengetahui morfologi yang terbentuk pada setiap partikel *sponge iron* pada briket.



### a. Analisis Morfologi Area Metalik Briket



**Gambar 4.11** Morfologi Area Metalik pada Briket Hasil Reduksi: a) Briket Bentonit, b) Briket  $\text{Ca(OH)}_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji

Dari gambar 4.11 Terlihat bahwa terdapat perbedaan warna dari masing-masing area metalik. Pada briket CMC (Gambar 4.11 c) dan briket Kanji (Gambar 4.11 d) warna area metaliknya terlihat lebih terang dibanding briket bentonit (Gambar 4.11 a) dan briket  $\text{Ca(OH)}_2$  (Gambar 4.11 b). Warna terang pada pada briket CMC dan Briket kanji mengindikasikan bahwa kadar Fe yang terkandung dalam area metaliknya cukup



tinggi, hal tersebut dibuktikan dengan hasil EDX pada area metalik briket kanji dan CMC seperti yang tercantum pada Tabel 4.13 dan 4.14

**Tabel 4.13** Kadar Unsur pada Area Metalik Briket Kanji

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	75,86	4,67	1,87	3,64	7,06	2,91

**Tabel 4.14** Kadar Unsur pada Area Metalik Briket CMC

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	71,6	11,02	2,46	4,87	4,04	3,75

Kemudian pada briket bentonit dan briket  $\text{Ca(OH)}_2$  warna area metaliknya lebih gelap dibanding briket kanji dan briket CMC yang mengindikasikan kadar Fe dalam area metaliknya relatif rendah dan konten unsur pengotornya relatif tinggi. Hal tersebut didukung dengan data hasil EDX pada area metalik briket bentonit dan  $\text{Ca(OH)}_2$  seperti yang tercantum pada Tabel 4.15 Dan 4.16

**Tabel 4.15** Kadar Unsur pada Area Metalik Briket Bentonit

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	67,88	13,73	2,61	4,28	4,95	2,51

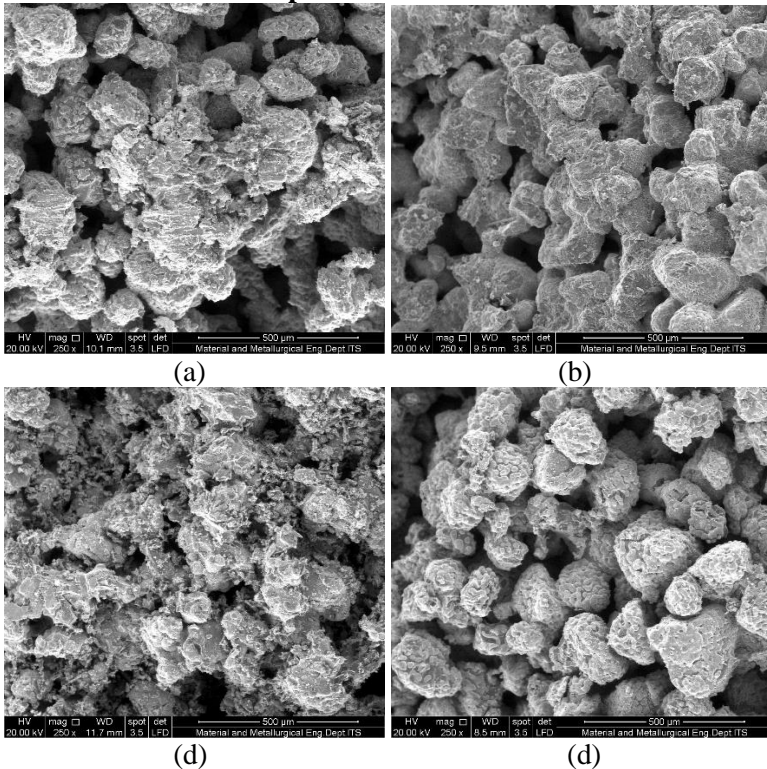
**Tabel 4.16** Kadar Unsur pada Area Metalik Briket  $\text{Ca(OH)}_2$

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	57,91	11,14	2,97	5,39	5,75	13,36

Dari Tabel 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16 dapat disimpulkan bahwa Walaupun daerah metalik yang terbentuk pada keempat briket terlihat serupa, kandungan Fe dan unsur pengotor dari setiap area metalik berbeda-beda. Hal ini mengindikasikan bahwa binder dapat mempengaruhi proses reduksi briket pasir besi dengan gas CO.



### b. Analisis Daerah Berpori Briket Hasil Reduksi



**Gambar 4.12** Morfologi Area Berpori Briket Hasil Reduksi (Perbesaran 250x): a) Briket Bentonit, b) Briket  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji

Dari Gambar 4.12 dapat terlihat bahwa produk akhir hasil reduksi pasir besi memiliki struktur yang berpori. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses reduksi berhasil mengubah briket pasir besi menjadi *Sponge Iron*. Pori-pori yang terbentuk disebabkan oleh lepasnya molekul oksigen dari partikel pasir besi selama proses reduksi sehingga menghasilkan struktur yang *Spongy* (berongga).





Dari Gambar 4.12 Terlihat bahwa masing-masing binder memberikan morfologi briket yang berbeda-beda. Morfologi yang ditampilkan oleh Gambar 4.12 a (briket bentonit) memperlihatkan partikel *sponge iron* berbentuk *spherical* dan beberapa partikel menyatu dengan yang lainnya, menempelnya partikel *sponge iron* tersebut disebut dengan fenomena *sticking*. Fenomena tersebut disebabkan karena binder bentonit yang meleleh pada rentang temperatur 1330-1400 °C dan melapisi partikel *sponge iron* sehingga menyebabkan menempelnya permukaan antar partikel. Fenomena tersebut tentunya dapat mengurangi porositas dari briket karena dengan menempelnya partikel pasir besi akan meningkatkan densitas briket. Namun fasa berwarna terang cukup banyak terbentuk pada permukaan partikel menandakan kadar Fe pada area ini cukup tinggi. Hal ini didukung dengan hasil pengujian EDX pada daerah ini seperti yang tercantum pada Tabel 4.17

**Tabel 4.17** Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket Bentonit

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	77,05	7,53	2,86	3,66	3,59	1,43

Lebih tingginya kadar Fe pada area berpori dibanding dengan area metalik pada briket Bentonit mengindikasikan bahwa fasa Fe metalik yang terbentuk tidak teraglomerasi sepenuhnya untuk membentuk area metalik yang lebih besar. Hal ini dikarenakan fasa pengotor yang terbentuk menghambat fasa Fe metalik untuk tumbuh dan bergabung dengan fasa Fe metalik yang lainnya.

Kemudian pada morfologi yang ditampilkan oleh Gambar 4.12 b (briket  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) terlihat bahwa partikel *sponge iron* cenderung memiliki bentuk *spherical* namun menyatu dengan yang partikel lain sehingga seperti membentuk suatu matriks. Partikel *sponge iron* disatukan oleh suatu fasa yang melapisi partikel partikel *sponge iron* tersebut. fasa tersebut adalah kalsium titanate ( $\text{CaTiO}_3$ ) yang kaya akan unsur Ca dan Ti. Hal



tersebut didukung oleh hasil pengujian EDX pada daerah ini seperti yang tercantum pada Tabel 4.18

**Tabel 4.18** Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	49,49	19,57	2,42	2,56	2,64	21,62

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  merupakan binder yang memiliki tipe ikatan *chemical matrix*. Tipe ikatan ini akan membentuk matrix kontinu yang terbentuk dari reaksi kimia kemudian akan mengeras. Tipe ikatan ini biasanya bersifat *irreversible* (Eisele, 2013). Terbentuknya matrix Kalsium titanat tentunya akan mengurangi porositas dari briket dan menghambat difusi gas CO kedalam partikel sehingga proses reduksi oksida besi dalam pasir besi tidak maksimal, hal tersebut ditunjukkan oleh fasa berwarna abu-abu yang mendominasi keseluruhan morfologi briket  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan sedikit sekali fasa terang yang terbentuk. Hal tersebut menandakan kadar Fe relatif rendah pada daerah ini.

Kemudian pada morfologi yang ditampilkan pada Gambar 4.12 c (briket CMC) terlihat bahwa partikel *sponge iron* membentuk morfologi seperti serpihan (*flakes*) dengan fasa terang dalam jumlah yang cukup banyak terdispersi di permukaannya. Hal tersebut menandakan kadar Fe pada daerah ini cukup tinggi. Hal ini didukung dengan data hasil pengujian EDX pada daerah ini seperti yang tercantum pada Tabel 4.19

**Tabel 4.19** Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket CMC

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	69,79	7,77	3,36	13,55	2,09	1,08

Morfologi berbentuk *flakes* pada briket CMC diduga dikarenakan tipe ikatan yang dimiliki oleh CMC adalah *Chemical Adsorption*. Ikatan ini terjadi antara CMC dan partikel besi oksida dan senyawa kimia baru terbentuk ketika besi oksida menyerap CMC pada kondisi lingkungan (Yang Gui Dkk, 2015). Morfologi



*flakes* tersebut tentunya berdampak positif terhadap proses reduksi briket pasir besi, hal ini disebabkan terbentuknya celah yang banyak antar partikel yang dapat memudahkan difusi gas CO kedalam briket oleh karena itu perolehan Fe total briket CMC cukup tinggi. Terdispersinya fasa terang yang kaya akan Fe diduga disebabkan arah aliran gas CO yang terkonsentrasi pada bagian-bagian partikel pasir besi yang menyudut sehingga derajat reduksi pada bagian ini lebih tinggi.

Kemudian pada morfologi yang ditampilkan oleh Gambar 4.13 d (Briket Kanji) terlihat morfologi partikel *sponge iron* yang dihasilkan adalah berbentuk *spherical*. Apabila dibandingkan dengan morfologi briket bentonit pada Gambar 4.13 a, morfologi yang dihasilkan oleh briket kanji hampir serupa dengan briket bentonit. Hal tersebut disebabkan tipe ikatan yang dihasilkan oleh binder kanji dan bentonit adalah *inactive film*. Ikatan ini menghasilkan lapisan tebal pada partikel yang mengikat partikel Sehingga bersatu. Lapisan tersebut dapat mengikat karena gaya kapiler atau oleh gaya adhesi dan kohesi. Ikatan yang terbentuk dapat berbalik (*reversible*) (Eisele, 2013). Namun yang membedakan morfologi briket kanji dan bentonit adalah ukuran butiran pada briket kanji lebih besar, hal ini mengindikasikan pertumbuhan fasa Fe metalik berjalan cukup baik kemudian tidak ada partikel yang menempel satu sama lain (*sticking*), hal ini disebabkan pada temperatur 1000 °C binder kanji akan menguap dan tidak lagi memberi ikatan pada partikel pasir besi. kemudian warna yang ditampilkan pada daerah ini didominasi fasa berwarna terang yang mengindikasikan cukup tingginya kadar Fe di area ini. Hal ini didukung hasil uji EDX pada area ini pada Tabel 2.20,

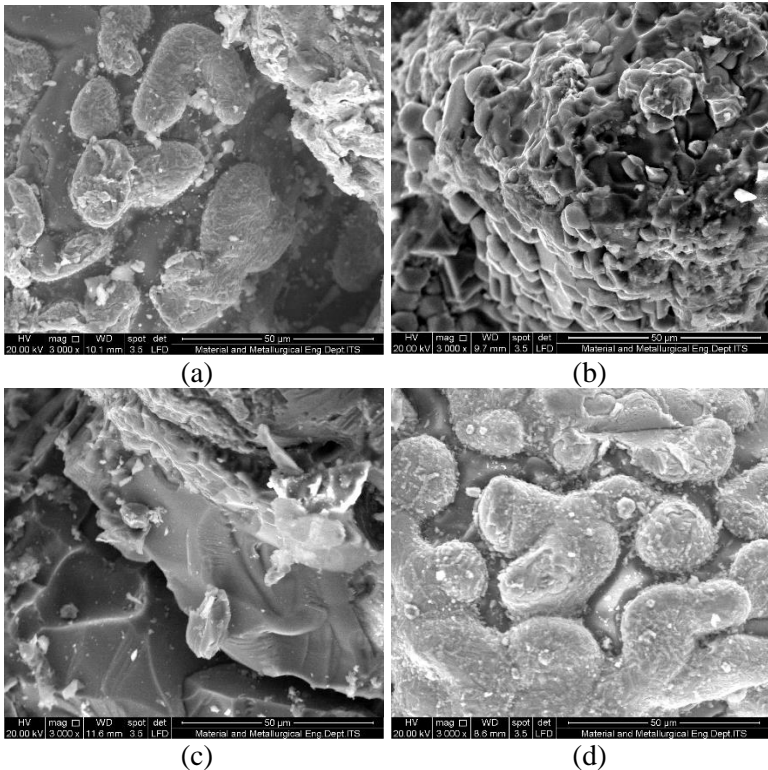
**Tabel 4.20** Kadar Unsur pada Daerah Berpori Briket Kanji

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	78,37	6,78	2,98	3,59	3,53	1,45

Tingginya kadar Fe pada daerah berpori briket kanji mengindikasikan bahwa proses reduksi berjalan dengan cukup



baik dan gas CO dapat mereduksi partikel pasir besi secara merata, hal tersebut dibuktikan dengan terbentuknya fasa terang yang kaya akan Fe di seluruh permukaan partikel.



**Gambar 4.13** Morfologi Permukaan Partikel pada Daerah Berpori (P erbesaran 3000x): a) Briket Bentonit, b) Briket  $\text{Ca(OH)}_2$ , c) Briket CMC, d) Briket Kanji

Dari Gambar 4.13 terlihat perbedaan morfologi yang dihasilkan oleh masing-masing binder. Gambar 4.13 a (briket bentonit) memiliki morfologi permukaan partikel yang hampir serupa dengan Gambar 4.13 d (briket kanji). Terlihat bahwa fasa



terang yang merupakan fasa yang kaya akan Fe teraglomerasi di permukaan partikel sebagai hasil dari reduksi besi oksida oleh gas CO. aglomerat fasa terang ini dipisahkan oleh fasa *slag-bond* yang kaya akan titanium, alumunium, magnesium, dan Silikon. *Slag-bond* tersebut mencegah fasa Fe Metalik untuk bergabung dengan fasa Fe metalik lainnya dan menghambat pertumbuhan fasa Fe metalik. Fenomena terpisahnya fasa Fe metalik oleh fasa *slag-bond* disebut dengan *wetting phenomenon* dimana *slag-bond* tersebut mengelilingi fasa Fe metalik sehingga seakan-akan membentuk *barrier*. Namun yang membedakan morfologi briket bentonit dan briket kanji adalah ketebalan *slag-bond* –nya, *Slag-bond* pada briket bentonit lebih tebal daripada yang ada pada briket kanji. Hal ini disebabkan karena binder bentonit mengandung senyawa-senyawa pengotor yang akan menambah jumlah slag di dalam briket. Kemudian warna aglomerat fasa yang kaya akan Fe pada briket kanji lebih terang daripada briket bentonit menandakan kadar Fe pada briket kanji lebih tinggi dan unsur pengotornya lebih rendah, hal ini didukung dengan hasil uji EDX pada daerah ini seperti yang tercantum dalam Tabel 4.21 Dan 4.22

**Tabel 4.21** Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket Kanji

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	81,52	0,80	0,66	0,86	0,90	0,39

**Tabel 4.22** Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket Bentonit

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	73,43	12,72	2,98	3,32	2,99	1,20

Dari Gambar 4.13 b (briket  $\text{Ca(OH)}_2$ ) terlihat bahwa permukaan partikel briket  $\text{Ca(OH)}_2$  didominasi oleh warna abu-abu gelap yang merupakan fasa slag yang kaya akan Ca dan Ti dan sedikit sekali fasa terang yang muncul ke permukaan partikel. Hal tersebut mengindikasikan rendahnya kadar Fe dan tingginya kadar unsur pengotor pada permukaan partikel briket  $\text{Ca(OH)}_2$ .



Hal tersebut didukung dengan hasil uji EDX pada daerah ini seperti yang tercantum pada Tabel 4.23

**Tabel 4.23** Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	49,18	16,42	5,36	6,62	2,95	17,40

Terbentuknya matriks slag yang kaya akan Ca dan Ti tersebut berasal dari kombinasi kimia antara  $\text{CaO}$  dan  $\text{TiO}_2$ . Ketika senyawa oksida pengotor tidak dapat tereduksi oleh gas  $\text{CO}$ , senyawa-senyawa oksida tersebut memaksa keluar menuju permukaan dan membuat *barrier* (Merk dan Pickles, 1988). Tingginya konsentrasi Ca dan Ti menyebabkan tebalnya *barrier* yang terbentuk sehingga hanya sedikit fasa metalik Fe yang dapat muncul ke permukaan.

Dari Gambar 4.13 c (briket CMC) semakin jelas terlihat bahwa morfologi partikel briket CMC berbentuk serpihan (*flakes*). Warna yang mendominasi adalah abu-abu muda dengan sedikit fasa terang berukuran kecil yang terdispersi. Hal tersebut mengindikasikan kadar Fe pada daerah ini relatif rendah, hal ini didukung dengan hasil uji EDX pada daerah ini seperti yang tercantum pada Tabel 4.24

**Tabel 4.24** Kadar Unsur di Permukaan Partikel Briket CMC

Unsur	Fe	Ti	Mg	Al	Si	Ca
Wt %	60,45	7,27	2,30	7,22	2,43	1,05

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, morfologi berbentuk *flakes* ini membuat aliran gas  $\text{CO}$  tidak merata ke seluruh permukaan partikel sehingga reduksi tidak merata. Hal ini menyebabkan hanya sedikit fasa terang yang kaya akan Fe muncul ke permukaan.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Briket pasir besi yang memiliki derajat reduksi tertinggi yaitu sebesar 86,52% adalah briket yang memakai binder Karboksimetilselulosa (CMC) sementara briket pasir besi yang memiliki derajat reduksi terendah adalah briket yang memakai binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yaitu sebesar 80,8%.
2. Morfologi partikel *sponge iron* yang dihasilkan pada briket dengan binder CMC adalah berbentuk *flakes* dengan fasa terang yang kaya akan Fe terdispersi di permukaannya. Morfologi partikel *sponge iron* yang dihasilkan oleh briket dengan binder bentonit adalah berbentuk *spherical* dengan beberapa partikel menyatu satu sama lain. Morfologi partikel *sponge iron* yang dihasilkan oleh briket dengan binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adalah cenderung *spherical* dengan seluruh partikel *sponge iron* menyatu satu sama lain.

#### 5.2 Saran

1. Melakukan penelitian terhadap penggunaan campuran binder organik dan inorganik.
2. Melakukan penelitian mengenai peleburan *sponge iron* dari pasir besi untuk membuat *pig iron*.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ade Awalludin, Suminar Setiati Achmadi, dan Novik Nurhidayati. *“Karboksimetilasi Selulosa Bakteri”*. Puslit Biologi – LIPI: **Prosiding Pertemuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan**. 2004: 305
- Ahonen, Lasse., Petri, K., Mia, T., Kivikoski, h., Rainer, L. 2008. *“Quality Assurance of The Bentonite Material”*. **Possive : Working Report 2008-33**. 8-55.
- Anggraeni, N.D. 2008. Analisa SEM dalam pemantauan Proses Oksidasi Magnetite menjadi Hematite. **Seminar Nasional-VII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri**.
- Anhar, A. B. (2015). *“Studi pengaruh variasi Komposisi Batubara dan Batu kapur pada briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe total dan Fe metalisasi”*. Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi ITS, 2-30.
- Bonyton, Robert.S. (1980). **Chemistry and technology of Lime and Limestone, 2nd edition**. John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Carboxymethyl Celulose (CMC) Book 1<sup>st</sup>. **Brosur CP Kelco A Huber Company**. Amerika Serikat.
- Chatterjee, Amit. (2010). **Sponge iron production by direct reduction of iron oxide**. New Delhi: PHI Learning Private Ltd.
- Chatterjee, Amit. (1988). **Proceedings of XV Symposium of SIDOR**. Puerto Ordaz, Venezuela
- de Souza R.P., de Mendonca C.F. dan Kater T., “Production of acid iron ore pellet for direct reduction, using an organic binder”, **Mining Engineering Magazine**, Vol.36, No.10, pp. 1437-1441, Oktober 1984.
- Ektrop, S. (1945). **Hoganas Sponge Iron Process**. Jernkontorets Annaler, BSITS translation 275, Vol. 22, 705-721.
- El-Geassy, A. H. A., Nasr, M. I., Omar, A. A., & Mousa, E. S. A. (2007). Reduction kinetics and catastrophic swelling of

- MnO<sub>2</sub>-doped Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compacts with CO at 1073-1373 K. **ISIJ international**, 47(3), 377-385.
- Eisele T. C. dan Kawatra S. K., “A review of binders in iron ore pelletization”, **Mineral Processing Extractive Metallurgy Rev.**, Vol. 24: pp. 1-90, 2003.
- Garea, A., M.I Ortiz., J.R Viguri, M.J Renedo, J. Fernandez., J.A Irabien. 1996. **Desulfurization Calcium Hydroxide/fly Ash Mixtures, Thermogravimetric Determination**. *Thermochemica Acta*: 174-181
- Halt J.A. dan Kawatra K.S. “**Review of Organic Binders for Iron Ore Agglomeration**”. Michigan Technological University: Department of Chemical Engineering. 2013: 1-27
- Halstead dan Moore, J. **Calcium Hydroxide for Dental Materials**. *J. Chem. Soc.* 1957
- Heerema R.H., Kortmann H., Kater T, dan van den Boogaard V.C, “improvements of acid, olivine and dolomite fluxed iron ore pellets using an organic binder”, dalam **5th international symposium on agglomeration**, Brighton, pp, 1989.
- Hidayatullah, A. B. (2016). **Studi Variasi Geometri Briket pada Campuran Bijih Besi dan Pasir Besi Terhadap Kandungan Derajat Metalisasi dan Fe Metalisasi**. Tugas Akhir Material dan Metalurgi ITS, 2-40.
- Hydrated Lime MSDS. **MSDS Carmeuse Natural Chemicals**. Stanwix Street, Pittsburgh.
- Kater, T., dan Steeghs, H.R.G., “Organic binders for iron ore pelletization”, dalam: **57th Annual Meeting of the Minnesota Section of AIME, Duluth-MN, USA**, pp. 13.1-13.29, 1984.
- Kementrian Perdagangan Republik Indonesia. 2014. **Profil Industri Baja 2014**. 4-8
- Khattoi, S. C., & Roy, G. G. (2010). “Sponge Iron Production From Ore Coal Composite Pellets in Tunnel Kiln”. **Project Engineering Consultancy**, 1-20
- Khairil., Mahidin., Iskandar., 2015. “Fundamental Study Of The effect Of Iron Reduction on The Binder Type in Iron Ore

- Briquette". Matter: **International Journal of Science and Technology ISSN 2454-5880**. Special Issue Vol. 1 Issue1, pp. 159-168
- Kimura, S dan Arnulf Muan. Phase Relations In The System CaO-Iron Oxide-Titanium Oxide Under Strongly Reducing Conditions . **The American Mineralogist**, Vol **56**, July-August, 1971.
- Merk, R dan C.A. Pickles. 1988. "Reduction of Ilmenite by Carbon Monoxide". **Canadian Metallurgical Quarterly**, Vol. 27. Canada: 179-185.
- Moorehead, D.R 1986. Cementation By The Carbonation Of Hydrated Lime. **Pergamons Journal: Cement and Concrete Research**. Vol. 16, pp. 700-708
- Pramusanto, Sriyanti, dan Ariefandin. 2010. "Perbandingan Antara Penambahan Bentonit dan Penambahan CMC terhadap hasil Proses Peletisasi Pasir Besi". **Prosiding SnaPP Edisi Eksakta Jurusan Teknik Pertambangan UNISBA**: 14-30.
- Ross HU. 1980. Physical Chemistry: Part I Thermodynamics. Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use. **Warrendale : The Iron and Steel Society**.
- Paananen, Timo dan Kimmo Kinnunen. Effect of TiO<sub>2</sub>-Content on Reduction of Iron Ore Agglomerates. **Steel Research int. 80 (2009) No. 6**. Finlandia : 408-414.
- PM School Handbook: Material and Powder Properties. **Hoganas Handbook for Sintered Components**. December, 2013.
- Sivrikaya O. Dan Arol A.I., "Alternative binders to bentonite for iron ore pelletizing : PART I: Effects on physical and mechanical properties", **VIII Meeting of the Southern Hemisphereon Mineral Technology**, Goiania – GO, 20-24 Oktober. 2013

- Scmitt J., “A Method for improving the process and quality of Iron Ore Pellets made with Organic Binders”, dalam **66th Annual University of Minnesota Mining Symposium**, April 19-20, Duluth, MN, USA, 2005.
- Sunaryo dan Wira Widyawidura. “Metode Pembelajaran bahan Magnet dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika”. **Jurnal Cakrawala Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Jakarta** No. 1 Th. XXIX, 2010.
- Sunde, M. (2012). “Organic binder as a substitute for bentonite in ilmenite pelletization”. **Research Project Departement of Material Science and Engineering NTNU**, 10-34.
- Sarangi, Arabinda & Sarangi, Bidyapati. 2011. **Sponge Iron Production in Rotary Kiln**. New Delhi. PHI Learning Private Limited.
- Suharto., Yayat, I.S., M. Amin., (2013). “Uji Coba Proses Reduksi Bijih Besi Lokal Menggunakan Rotary Kiln”. **Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia V** .Surakarta, 6 April
- Singh, K. S., dan Krishnan, T. 2008. **Reduction kinetics of iron ore pellets and effect of binders**. B. Tech, Fourth Year, Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology, India: 4-41.
- SUN, Haoyan, Ajala A. ADETORO, Zhen WANG, Feng PAN, dan Li LI. (2016). Direct Reduction Behaviors of Titanomagnetite Ore by Carbon Monoxide in Fluidized Bed. **ISIJ International**. Vol.56. Cina : 936-943.
- Suzuki, Y., Yutaka, S. (2011). **Magnesium Dtitanate ( $\text{MgTi}_2\text{O}_5$ ) With Pseudobrookite Structure: A Review**. Vol. 12, No. 3, Mei 2011
- Liu, Yi-ran, Jiang-Liang Zhang, Zheng-jian Liu, dan Xiang-dong Xing. (2016). “Phase Transformation behavior of titanium during carbothermic reduction of titanomagnetite

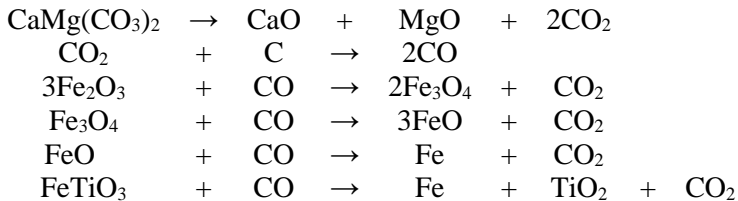
- ironsand". **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**. Volume 23 : Page 760.
- Wang, Zhe., David Pinson, Seng Chew, Harold Rogers, Brian J. Monaghan, Mark I. Pownceby, Nathan A.S. Webster, Guangqing Zhang. Behaviour of New Zealand Ironsand During Iron Ore Sintering. **Metallurgical and Materials Transaction B**, February 2016, Volume 47, Issue 1, pp 330-343.
- Yulianto, A., (2006). **Kajian Sifat Magnetik Pasir Besi dan Optimalisasi Pengolahan Menjadi Magnet Ferit**, Disertasi Program Doktor Institut Teknologi Bandung.
- Zulfiadi, zulhan.2013. **Aspek Teknologi dan Ekonomi Pembangunan Pabrik Pengolahan Bijih Besi Menjadi Produk Baja di Indonesia**. Teknik Metalurgi-Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan.ITB

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## Lampiran A (Perhitungan Teoritis Berat)

### Perhitungan stoikiometri perbandingan pasir besi: batubara: batu kapur

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi pasir besi terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi Boudouard. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material adalah

- Pasir besi

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam pasir besi yang diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat.

Hasil EDX Pasir Besi						
Parameter	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
%Wt	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

Dari data pengujian XRD, mineral – mineral yang terkandung dalam pasir besi dan persentasenya, antara lain:

- Maghemite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) = 16,33 %
- Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) = 46,065 %
- Ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) = 21,273 %

Apabila diasumsikan setiap briket pasir besi terdiri dari 1000 gram ore pasir besi maka :

- Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) = 46,065 gram  $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr Fe}_3\text{O}_4} = 1,9855 \text{ mol}$



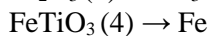
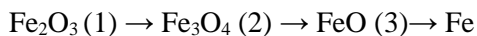
- Maghemite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) = 16,33 gram  $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3} = 1,0206 \text{ mol}$
- Ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) = 21,273 gram  $\gg \frac{\text{Massa}}{\text{Mr FeTiO}_3} = 1,3995 \text{ mol}$
- Batu bara  
Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35 %.
- Batu Kapur  
Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

#### Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

Dalam penelitian ini reduksi besi oksida pada pasir besi bertahap seperti berikut.



Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol gas  $\text{CO}_2$  yang dibutuhkan dari

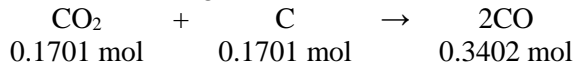
hasil dekomposisi batu kapur serta berapa mol CO<sub>2</sub> hasil reaksi yang harus bereaksi dengan C batubara.

### I. Reaksi Reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

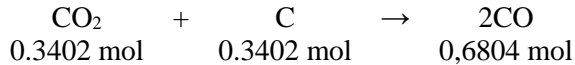
#### a. Reaksi 1



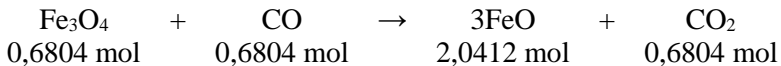
CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



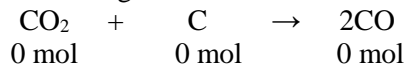
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 1 dengan C batubara



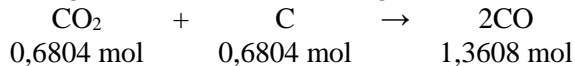
#### b. Reaksi 2



CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



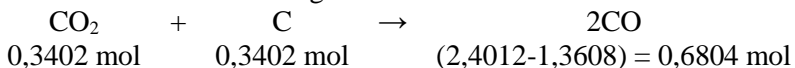
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C batubara



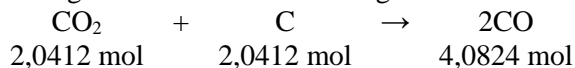
#### c. Reaksi 3



CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batubara

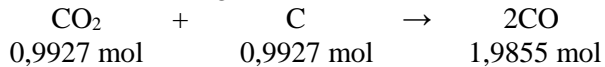


## II. Reaksi Reduksi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

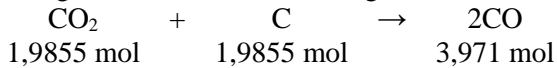
### a. Reaksi 1



CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



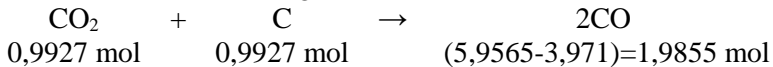
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C batubara



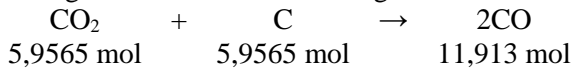
### a. Reaksi 2



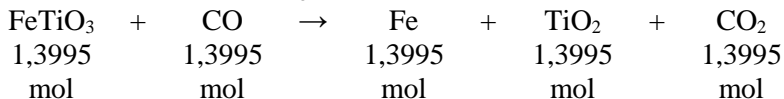
CO<sub>2</sub> hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C batu bara



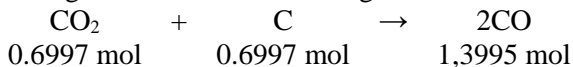
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C batubara



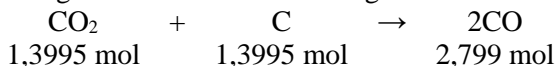
## c. Reaksi Reduksi FeTiO<sub>3</sub>



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi dengan C batubara



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C batubara



### Perhitungan Kebutuhan Batubara

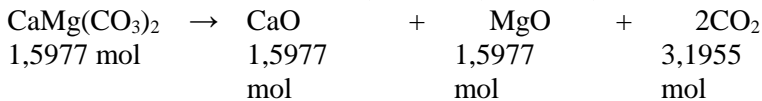
$$\begin{aligned}\text{Total mol C} &= 0.1701 + 0.3402 + 0 + 0.6804 + 0.3402 + 2.0412 + \\ &\quad 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.6997 + \\ &\quad 1.3995 \\ &= 15.5988 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 15.5988 \times 12.0 = 187,1862 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa batubara yang dibutuhkan} &= \frac{1}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{1}{42,35\%} \times 172.695 \\ &= 442 \text{ gram}\end{aligned}$$

### Perhitungan Kebutuhan Kapur

$$\begin{aligned}\text{Total CO}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 0.1701 + 0 + 0.3402 + 0.9927 + \\ &\quad 0.9927 + 0.6997 = 3,1955 \text{ mol}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{Massa dolomit} &= \text{mol CaMg}(\text{CO}_3)_2 \times \text{Mr CaMg}(\text{CO}_3)_2 \\ &= 1.5977 \times 184.397 = 294,619 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Wt Dolomit} &= \frac{\text{Mr CaMg}(\text{CO}_3)_2}{\left(\frac{1}{18.015\%} \times \text{Ar Ca}\right) + \left(\frac{1}{14.6135\%} \times \text{Ar Mg}\right)} \times 100\% \\ &= \frac{184.397}{\left(\frac{1}{18.015\%} \times 40.078\right) + \left(\frac{1}{14.6135\%} \times 24.305\right)} \times 100\% \\ &= 47.42 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa batu kapur yang dibutuhkan} &= \frac{1}{47.42\%} \times \text{massa dolomite} \\ &= \frac{1}{47,42\%} \times 294.619 \\ &= 621.3 \text{ gram}\end{aligned}$$

Maka Perbandingan massa yang diperoleh adalah :

$$\begin{array}{rcccl}\text{Pasir Besi : Batu Bara : Batu Kapur Dolomit} & & & & \\ 1000 & : & 442 & : & 621 \\ 1 & : & 0,442 & : & 0,621\end{array}$$

# Lampiran B (Hasil Uji XRD)

## Hasil Uji XRD Pasir Besi



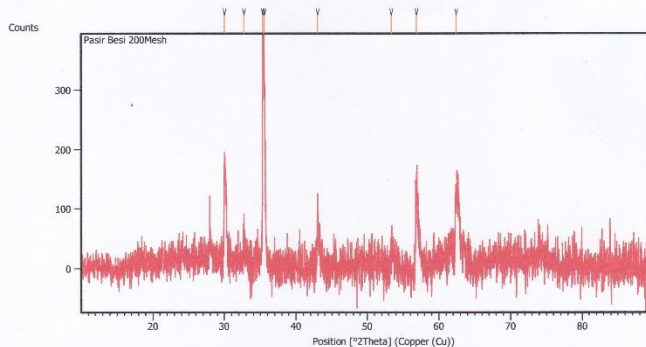
LABORATORIUM PENGOLAHAN MINERAL DAN MATERIAL  
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Telp. (031) 5943645, 081232092373, Email : sungging@mat-eng.its.ac.id

Surabaya, 22 September 2016

No : 10/LTPMM/IX/2016  
Hal : Laporan Hasil Pengujian XRD  
Lampiran : -

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Berdasarkan permohonan pengujian yang diberikan, maka telah dilakukan pengujian X-Ray Diffractometer (XRD) untuk sampel pasir besi Sukabumi. Berikut ini ialah hasil pengujian XRD sampel pasir besi Sukabumi.



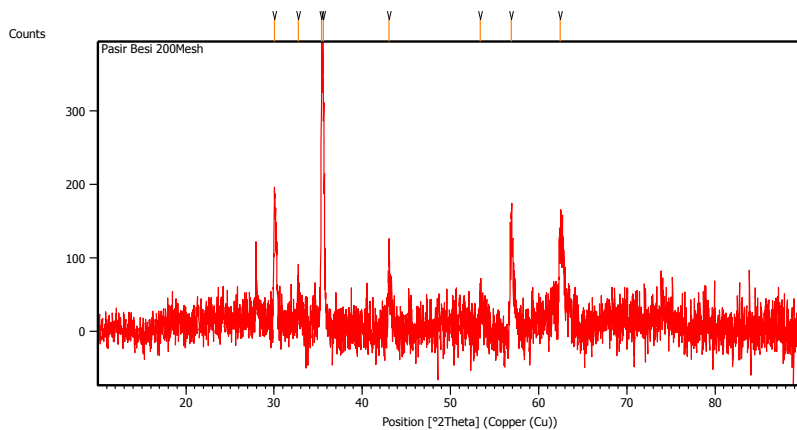
Gambar 1. Hasil pengujian X-Ray Diffractometer (XRD) sampel pasir besi Sukabumi

Dari grafik di atas, maka diperoleh senyawa – senyawa yang mungkin ada di dalam pasir besi Sukabumi. Tabel 1 menunjukkan senyawa – senyawa tersebut.

Tabel 1. Hasil analisa kandungan senyawa yang mungkin ada di dalam pasir besi

No	Senyawa	Formula	Wt %
1	Magnetite	$Fe_3O_4$	46,065
2	Maghemite	$Fe_2O_3 (\beta)$	16,33
3	Ilmenite	$FeTiO_3$	21,273
4	Magnesium oksida	$MgO$	4,588
5	Aluminium oksida	$Al_2O_3$	5,026
6	Silikon oksida	$SiO_2$	6,718

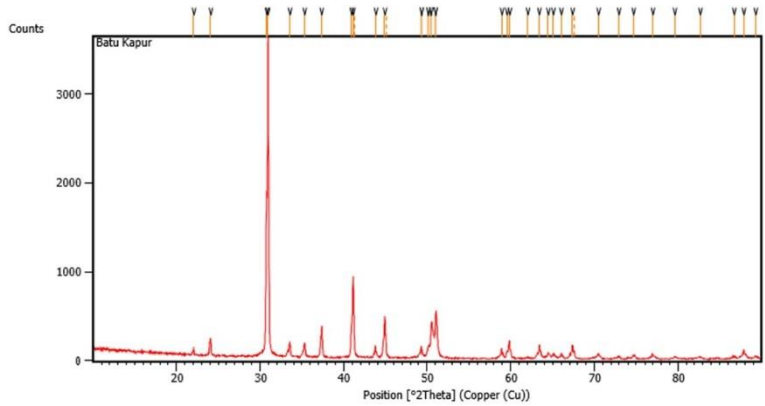
Sf



### Peak List :

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.0555	173.35	0.1673	2.97329	44.21
32.7505	53.88	0.2007	2.73452	13.74
35.3866	392.13	0.0669	2.53663	100.00
35.5731	330.12	0.1673	2.52376	84.19
43.0173	98.12	0.2676	2.10270	25.02
53.3979	42.55	0.3346	1.71585	10.85
56.9104	153.59	0.2676	1.61801	39.17
62.4581	98.51	0.4015	1.48697	25.12

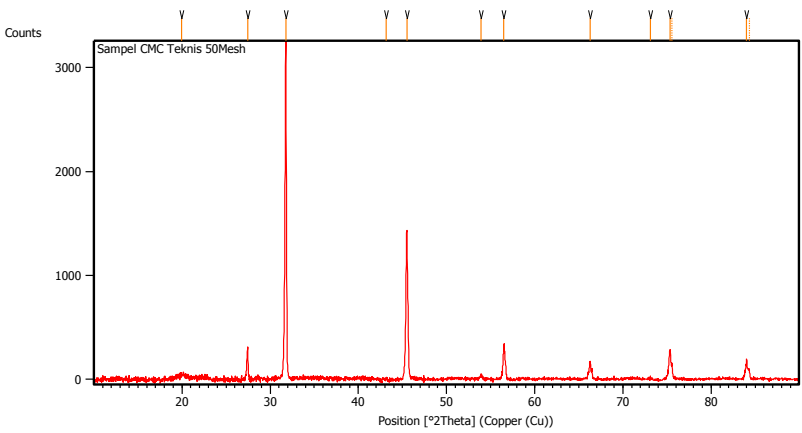
# Hasil Uji XRD Batu Kapur



## Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0550	73.23	0.0669	4.03040	2.03
24.0961	161.29	0.1004	3.69343	4.47
30.7582	1687.90	0.1004	2.90695	46.75
30.9449	3610.70	0.1004	2.88984	100.00
33.5597	129.23	0.1673	2.67042	3.58
35.3255	156.43	0.1004	2.54088	4.33
37.3633	330.77	0.0669	2.40685	9.16
40.8910	285.95	0.1004	2.20699	7.92
41.1275	917.37	0.1020	2.19303	25.41
41.2581	371.23	0.0612	2.19182	10.28
43.7981	121.38	0.1224	2.06530	3.36
44.9393	460.15	0.1224	2.01547	12.74
45.0573	228.55	0.0612	2.01546	6.33
49.2930	111.62	0.0816	1.84716	3.09
50.1110	131.89	0.2040	1.81891	3.65
50.4740	333.92	0.1632	1.80667	9.25
51.0180	496.42	0.1428	1.78868	13.75

Hasil XRD Binder CMC

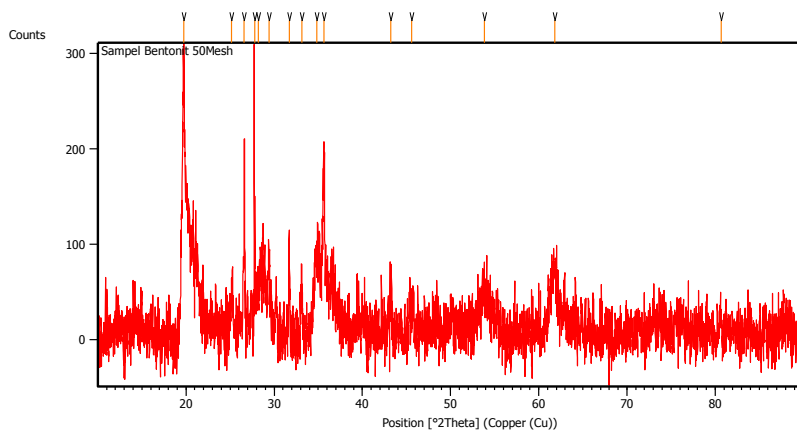


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19.9256	50.69	0.6691	4.45606	1.55
27.4446	321.39	0.0669	3.24993	9.82
31.7801	3271.96	0.1673	2.81578	100.00
43.1589	17.55	0.1673	2.09613	0.54
45.5177	1413.68	0.1506	1.99284	43.21
53.9085	45.97	0.2676	1.70080	1.40
56.5103	328.71	0.1171	1.62852	10.05
66.2995	162.54	0.1506	1.40983	4.97
73.0994	15.76	0.4015	1.29456	0.48
75.3254	268.72	0.2040	1.26069	8.21
75.5730	131.72	0.1224	1.26030	4.03
84.0163	195.04	0.0816	1.15101	5.96
84.3147	93.36	0.1224	1.15055	2.85



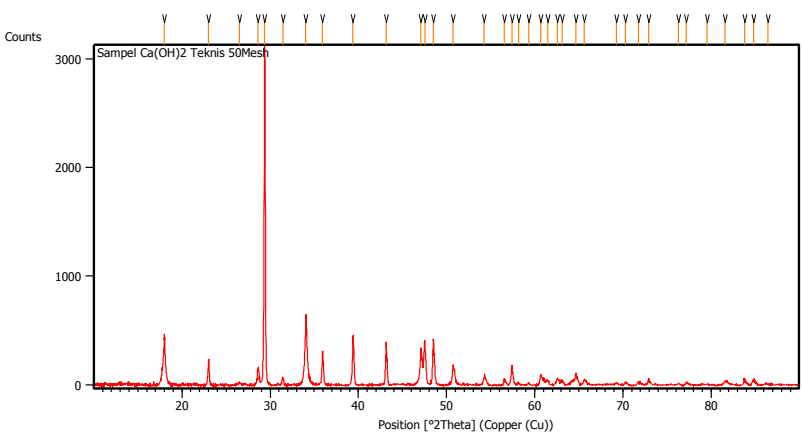
## Hasil XRD Binder Bentonit



### Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19.7329	251.49	0.2007	4.49913	100.00
25.1589	32.71	0.4015	3.53977	13.01
26.6026	205.67	0.0502	3.35085	81.78
27.7671	162.26	0.1004	3.21292	64.52
28.1963	53.01	0.5353	3.16498	21.08
29.4112	94.87	0.2007	3.03695	37.72
31.7024	88.71	0.1338	2.82250	35.27
33.1285	53.41	0.2007	2.70418	21.24
34.8286	76.44	0.5353	2.57598	30.39
35.6396	162.33	0.1673	2.51920	64.55
43.2289	38.34	0.4015	2.09290	15.25
45.5782	21.68	0.4015	1.99033	8.62
53.8497	33.23	0.8029	1.70252	13.21
61.7972	66.11	0.6691	1.50128	26.29
80.6654	14.78	0.2342	1.19114	5.88

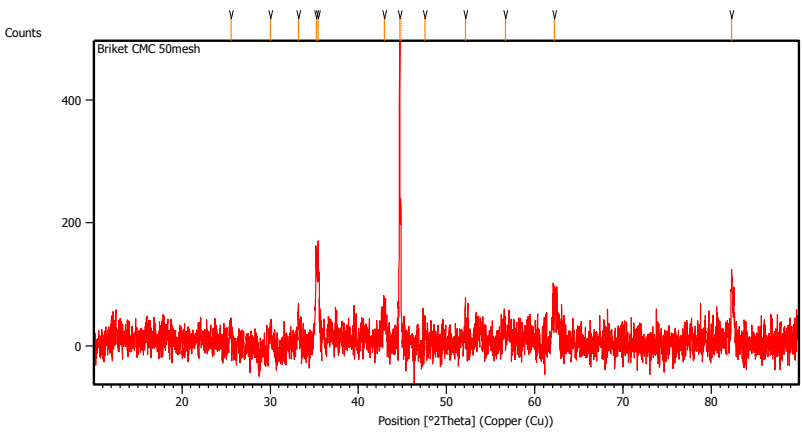
Hasil XRD Binder Ca(OH)<sub>2</sub>



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.0022	426.71	0.0836	4.92759	13.56
23.0141	232.18	0.1171	3.86457	7.38
26.5403	16.30	0.2007	3.35857	0.52
28.6412	162.16	0.1673	3.11682	5.15
29.3856	3146.18	0.1171	3.03954	100.00
31.4377	79.16	0.1338	2.84566	2.52
34.0500	652.15	0.0669	2.63308	20.73
35.9508	306.34	0.1171	2.49811	9.74
39.3981	460.61	0.1338	2.28711	14.64
43.1551	400.65	0.0669	2.09630	12.73
47.0994	345.73	0.0669	1.92954	10.99
47.5459	419.46	0.1004	1.91246	13.33
48.5230	420.13	0.1004	1.87621	13.35
50.7388	188.94	0.0836	1.79935	6.01
54.2775	83.95	0.1673	1.69011	2.67
56.5380	55.66	0.1338	1.62778	1.77
57.4031	163.82	0.1673	1.60529	5.21
58.1953	16.65	0.2676	1.58531	0.53
59.2924	24.70	0.1004	1.55857	0.79
60.6761	100.26	0.1673	1.52630	3.19

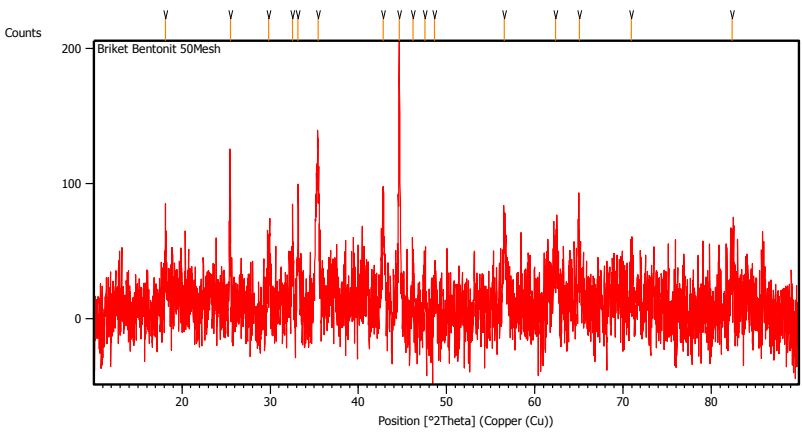
Hasil XRD Briket CMC



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.5565	30.24	0.4015	3.48558	6.02
30.0595	38.15	0.4015	2.97291	7.60
33.2015	56.82	0.2676	2.69841	11.31
35.2069	154.51	0.1338	2.54916	30.76
35.4708	123.01	0.1673	2.53080	24.49
42.9681	53.31	0.3346	2.10499	10.61
44.6927	502.25	0.0612	2.02601	100.00
44.8144	232.77	0.0612	2.02581	46.35
47.5805	30.23	0.4896	1.90956	6.02
52.1218	51.42	0.2448	1.75337	10.24
56.7022	21.63	0.9792	1.62212	4.31
62.2491	68.33	0.8160	1.49023	13.60
82.3334	118.82	0.1632	1.17022	23.66

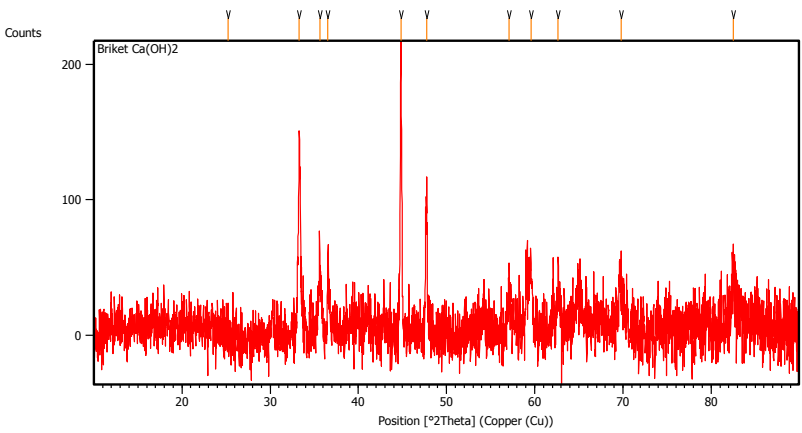
Hasil XRD Briket Bentonit



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.1156	32.20	0.4015	4.89699	16.66
25.4730	82.88	0.1004	3.49683	42.87
29.8443	45.76	0.4015	2.99385	23.67
32.5463	59.28	0.2007	2.75122	30.66
33.1697	86.39	0.2007	2.70092	44.68
35.4106	111.41	0.3346	2.53497	57.63
42.8321	70.25	0.3346	2.11136	36.33
44.6476	193.33	0.0669	2.02964	100.00
46.2219	28.74	0.2007	1.96410	14.87
47.5390	41.61	0.2007	1.91272	21.52
48.6587	23.58	0.3346	1.87129	12.20
56.5648	55.55	0.2007	1.62707	28.73
62.3892	43.01	0.4015	1.48845	22.24
65.0366	40.66	0.4015	1.43412	21.03
70.9335	20.85	0.4015	1.32867	10.78
82.3816	34.60	0.4015	1.17063	17.90

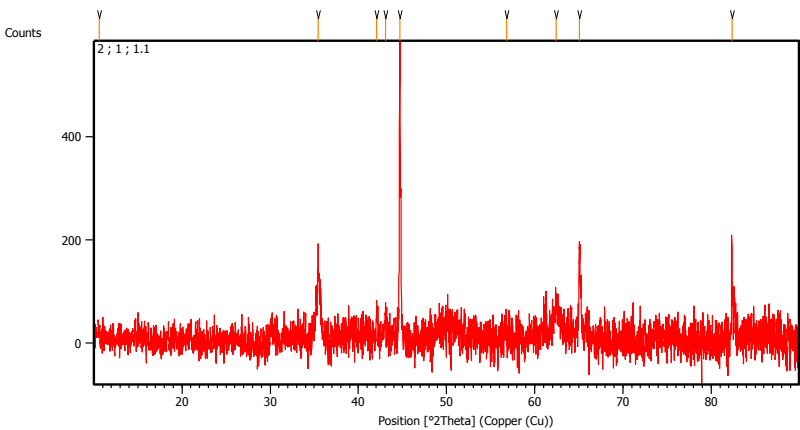
Hasil XRD Briket Ca(OH)<sub>2</sub>



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.2370	18.71	0.1004	3.52899	8.62
33.3116	148.38	0.2007	2.68974	68.41
35.6384	50.19	0.2676	2.51928	23.14
36.5576	49.63	0.1338	2.45802	22.88
44.8356	216.91	0.1004	2.02156	100.00
47.7426	104.10	0.2007	1.90504	47.99
57.0852	26.11	0.4015	1.61347	12.04
59.5715	51.68	0.2676	1.55194	23.82
62.6309	35.88	0.4015	1.48329	16.54
69.8093	27.44	0.8029	1.34729	12.65
82.5118	41.63	0.3346	1.16911	19.19

Hasil XRD Briket Kanji



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.5975	6.94	0.2342	8.34807	1.19
35.4332	177.37	0.1004	2.53340	30.47
42.1052	63.08	0.2007	2.14611	10.84
43.0700	46.39	0.4015	2.10025	7.97
44.7082	582.06	0.0669	2.02702	100.00
56.7942	25.21	0.8029	1.62105	4.33
62.4239	48.45	0.5353	1.48770	8.32
65.0711	173.00	0.1004	1.43344	29.72
82.3538	190.18	0.0816	1.16998	32.67

Referensi PDF Card

Fe (Iron)

Reference code: 00-006-0696

Mineral name: Iron, syn  
Compound name: Iron

Common name: bainite, ferrite, ledkunitite

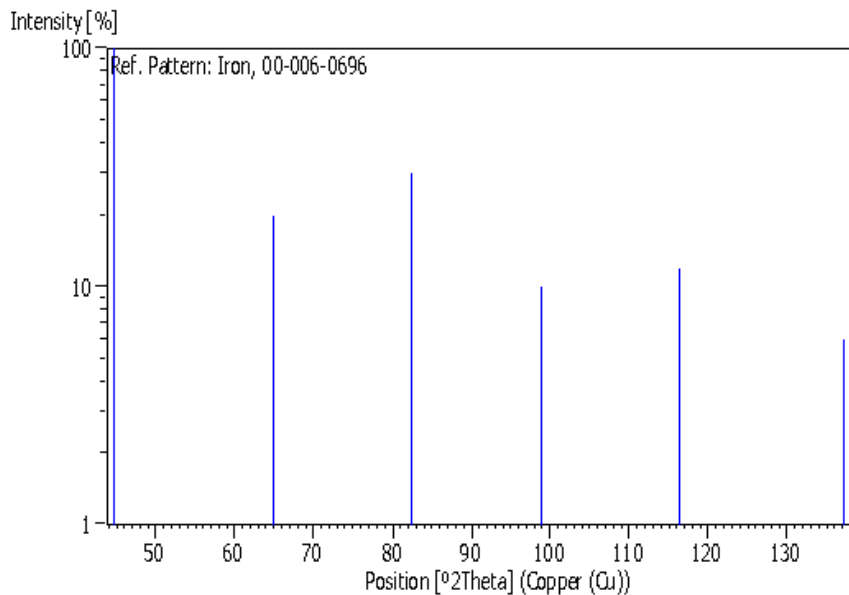
Empirical formula: Fe

Chemical formula: Fe

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	1	1	0	2.02680	44.674	100.0
2	2	0	0	1.43320	65.023	20.0
3	2	1	1	1.17020	82.335	30.0
4	2	2	0	1.01340	98.949	10.0
5	3	1	0	0.90640	116.390	12.0
6	2	2	2	0.82750	137.144	6.0

## **Stick Pattern**



## **MgO (Periclase)**

Reference code: 01-071-1176

Mineral name: Periclase

Compound name: Magnesium Oxide

Empirical formula: MgO

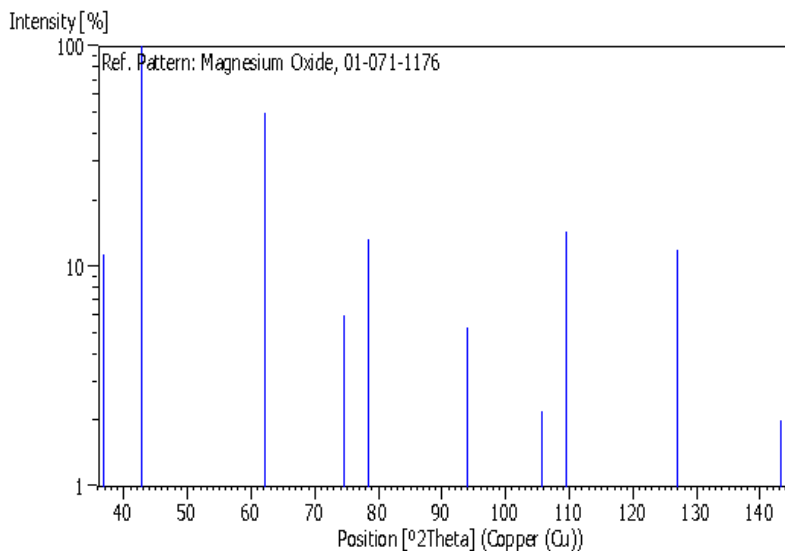
Chemical formula: MgO

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	1	1	1	2.43470	36.889	11.4
2	2	0	0	2.10850	42.856	100.0
3	2	2	0	1.49090	62.218	49.8
4	3	1	1	1.27150	74.576	6.0
5	2	2	2	1.21730	78.513	13.3
6	4	0	0	1.05420	93.890	5.3
7	3	3	1	0.96740	105.548	2.2
8	4	2	0	0.94300	109.544	14.4
9	4	2	2	0.86080	126.982	11.9
10	5	1	1	0.81160	143.286	2.0



## Stick Pattern



## CaTiO<sub>3</sub> (Perovskite)

Reference code:

01-075-0437

Mineral name:

Perovskite, syn

Compound name:

Calcium Titanium Oxide

Common name:

calcium titanate

Empirical formula:

CaO<sub>3</sub>Ti

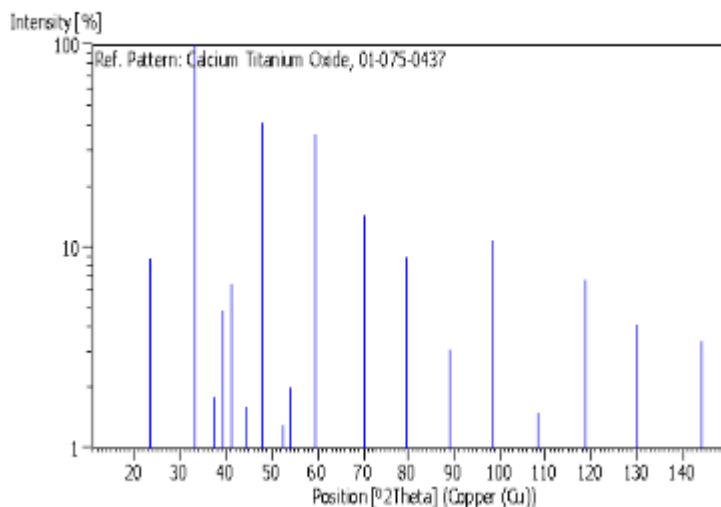
Chemical formula:

CaTiO<sub>3</sub>

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	7.60000	11.634	0.1
2	0	0	1	7.60000	11.634	0.1
3	-1	0	1	5.37400	16.482	0.1
4	1	0	1	5.37400	16.482	0.1
5	-1	1	1	4.38790	20.221	0.5
6	1	1	1	4.38790	20.221	0.5
7	2	0	0	3.80000	23.391	8.6
8	0	0	2	3.80000	23.391	8.6
9	-2	0	1	3.39880	26.199	0.1
10	2	0	1	3.39880	26.199	0.1
11	-1	2	1	3.10270	28.750	0.1
12	1	2	1	3.10270	28.750	0.1
13	0	2	2	2.68700	33.318	100.0
14	2	0	2	2.68700	33.318	100.0

## Stick Pattern



## **FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FerrousPseudobrookite)**

Reference code:

01-089-8065

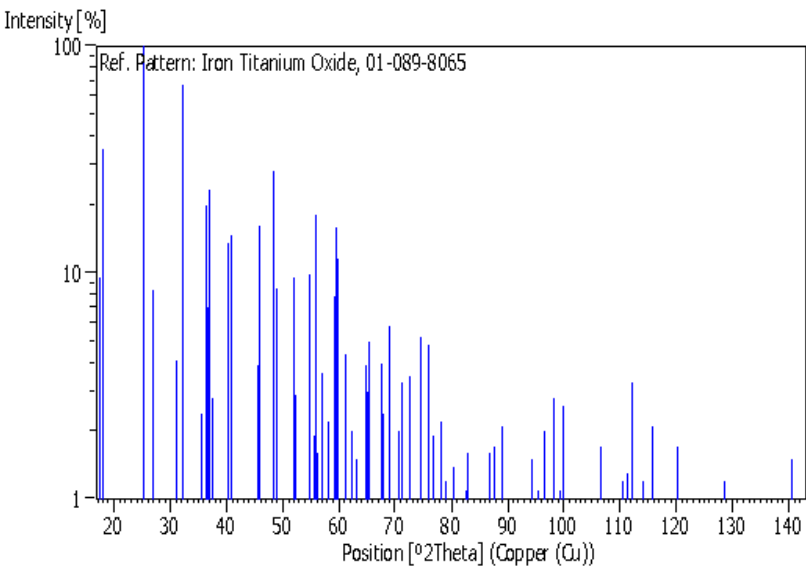
Mineral name: Pseudobrookite, ferrous, syn  
 Compound name: Iron Titanium Oxide  
 Common name: iron(II) dititanium oxide

Empirical formula:  $\text{FeO}_5\text{Ti}_2$   
 Chemical formula:  $\text{FeTi}_2\text{O}_5$

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	2	0	5.03550	17.599	9.6
2	2	0	0	4.90400	18.074	35.3
3	2	1	0	4.40910	20.123	0.5
4	1	0	1	3.50300	25.406	100.0
5	1	1	1	3.30850	26.927	8.4
6	1	2	1	2.87560	31.076	4.1
7	2	3	0	2.77010	32.291	67.1
8	0	4	0	2.51780	35.630	2.4
9	3	0	1	2.46440	36.428	19.7
10	4	0	0	2.45200	36.619	7.0
11	1	3	1	2.42370	37.062	23.2
12	3	1	1	2.39380	37.542	2.8
13	4	1	0	2.38240	37.729	0.3
14	2	4	0	2.23980	40.231	13.6
15	3	2	1	2.21350	40.730	3.1
16	4	2	0	2.20460	40.902	14.6
17	1	4	1	2.04440	44.269	0.1
18	3	3	1	1.98660	45.629	3.9
19	4	3	0	1.98010	45.787	16.1
20	0	0	2	1.87520	48.508	28.1

**Stick Pattern**



**MgTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Magnesium Dtitanate)**

Reference code: 00-020-0694

Compound name: Magnesium Titanium Oxide

Empirical formula: MgO<sub>5</sub>Ti<sub>2</sub>

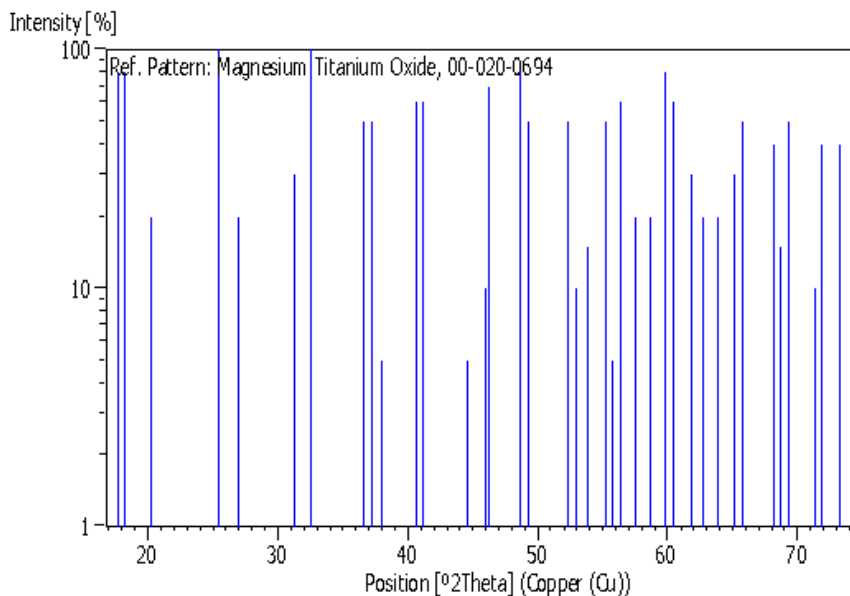
Chemical formula: MgTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	5.01000	17.689	80.0
2	0	2	0	4.87000	18.202	80.0
3	0	2	1	4.38000	20.258	20.0
4	1	0	1	3.50000	25.428	100.0
5	1	1	1	3.30000	26.998	20.0
6	1	1	2	2.86000	31.249	30.0
7	0	2	3	2.75000	32.533	100.0

8	1	3	0	2.45000	36.650	50.0
9	1	1	3	2.41000	37.281	50.0

## **Stick Pattern**



## **FeTiO<sub>3</sub> (Ilmenite)**

Reference code: 00-002-0880

Mineral name: Ilmenite

Compound name: Iron Titanium Oxide

Empirical formula: FeO<sub>3</sub>Ti

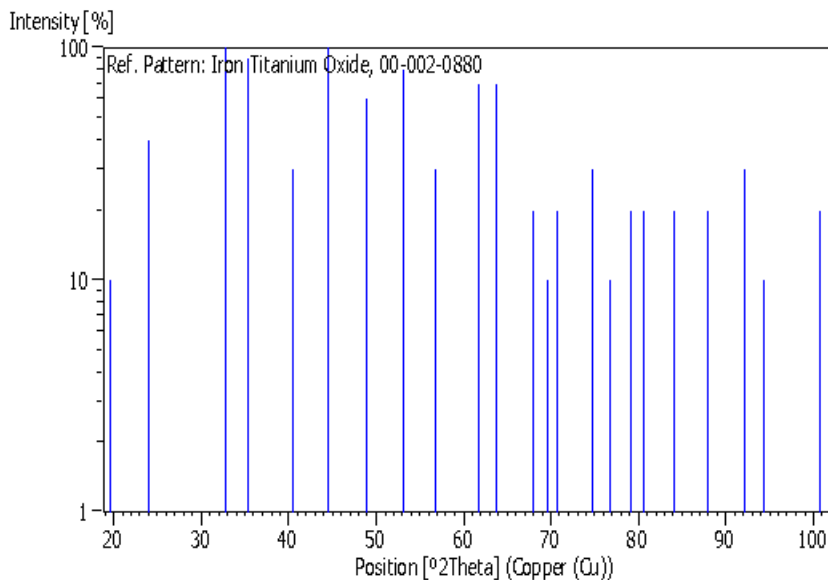
Chemical formula: Fe<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>

## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	3	4.50000	19.713	10.0

2	0	1	2	3.70000	24.033	40.0
3	1	0	4	2.73000	32.778	100.0
4	1	1	0	2.53000	35.452	90.0
5	1	1	3	2.23000	40.416	30.0
6				2.03000	44.600	100.0
7	0	2	4	1.86000	48.930	60.0
8	1	1	6	1.72000	53.212	80.0
9	1	2	2	1.62000	56.783	30.0
10	2	1	4	1.50000	61.799	70.0
11	3	0	0	1.46000	63.687	70.0

## **Stick Pattern**



## **Magnetite(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)**

Reference code:

01-076-7165

Mineral name:

Magnetite

Compound name:

Iron Oxide

Common name:

Iron diiron(III) oxide

Empirical formula:

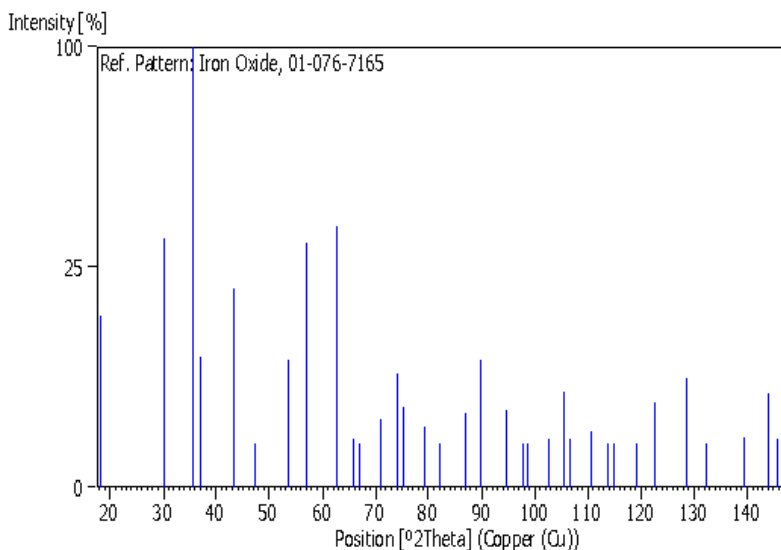
Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Chemical formula:



### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.83620	18.330	15.1
2	2	2	0	2.96160	30.152	32.0
3	3	1	1	2.52560	35.516	100.0
4	2	2	2	2.41810	37.151	8.8
5	4	0	0	2.09420	43.163	20.4
6	3	3	1	1.92170	47.262	0.1
7	4	2	2	1.70990	53.551	8.3



### **Maghemite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Reference code:

01-076-3169

Mineral name:

Maghemite-Q, syn

Compound name:

Iron Oxide

Common name:

γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Iron(III) oxide

Empirical formula:



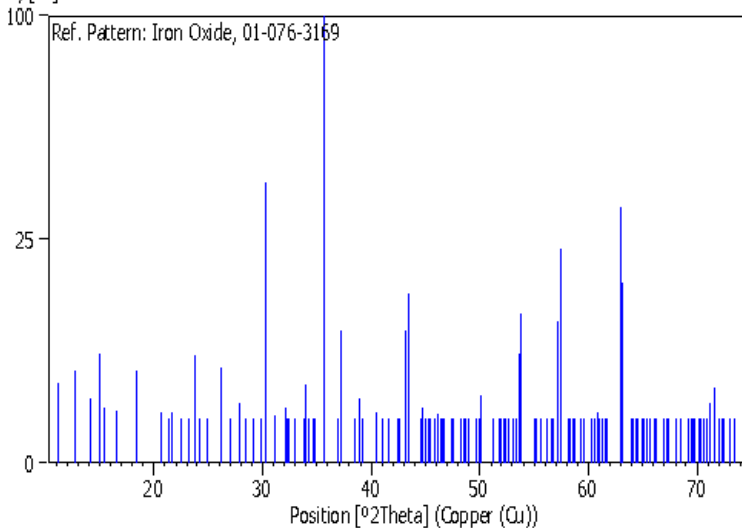
Chemical formula:



### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
28	2	2	0	2.95270	30.245	39.2
29	2	0	6	2.95270	30.245	39.2
30	2	2	2	2.86790	31.161	1.1
31	2	2	3	2.78310	32.136	1.5
32	2	1	6	2.78310	32.136	1.5
33	1	1	8	2.77040	32.287	0.3
34	3	0	1	2.76050	32.406	0.2
35	2	0	7	2.71850	32.921	0.4
36	3	0	2	2.71180	33.005	0.5
37	1	0	9	2.64590	33.851	0.8
38	3	0	3	2.63600	33.982	3.1
39	3	1	0	2.63600	33.982	3.1
40	3	1	1	2.62040	34.191	0.5
41	2	1	7	2.58440	34.682	0.6
42	3	1	2	2.57860	34.762	0.6
43	1	1	9	2.52180	35.571	69.4
44	3	1	3	2.51320	35.697	100.0

Intensity [%]





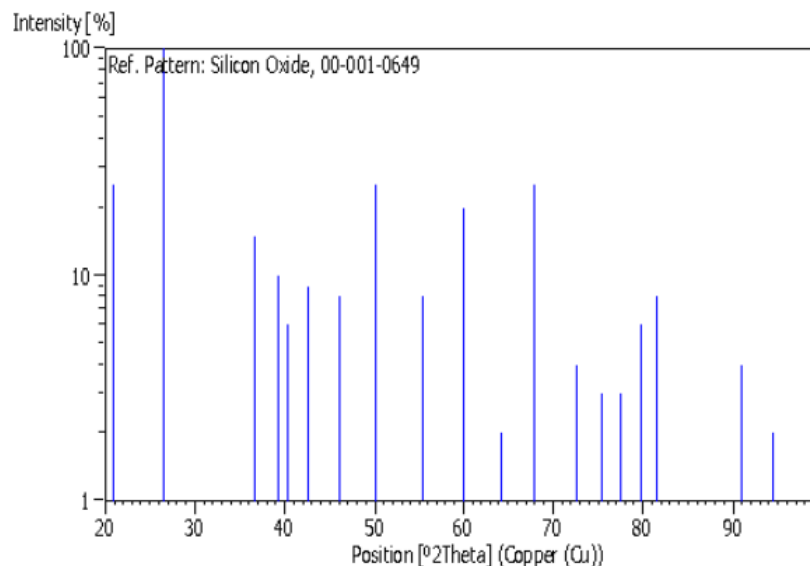
## SiO<sub>2</sub> (Quartz)

Reference code:	00-001-0649
Mineral name:	Quartz
Compound name:	Silicon Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Si
Chemical formula:	SiO <sub>2</sub>

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4.25000	20.885	25.0
2	1	0	1	3.35000	26.587	100.0
3	1	1	0	2.45000	36.650	15.0
4	1	0	2	2.29000	39.312	10.0
5	1	1	1	2.23000	40.416	6.0
6	2	0	0	2.12000	42.612	9.0
7	2	0	1	1.97000	46.035	8.0
8	1	1	2	1.82000	50.079	25.0
9	1	0	3	1.66000	55.296	8.0
10	2	1	1	1.54000	60.026	20.0
11	1	1	3	1.45000	64.179	2.0
12	2	1	2	1.38000	67.861	25.0
13	1	0	4	1.30000	72.675	4.0
14	3	0	2	1.26000	75.374	3.0
15	2	2	0	1.23000	77.549	3.0
16	2	1	3	1.20000	79.870	6.0
17	1	1	4	1.18000	81.506	8.0
18	3	1	1	1.16000	83.219	1.0
19	3	1	2	1.08000	90.998	4.0
20	1	0	5	1.05000	94.381	2.0
21	4	0	1	1.04000	95.578	1.0
22	2	2	3	1.02000	98.085	1.0

## Stick Pattern



## Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematite)

Reference code:

00-024-0072

Mineral name:

Hematite

Compound name:

Iron Oxide

Empirical formula:

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

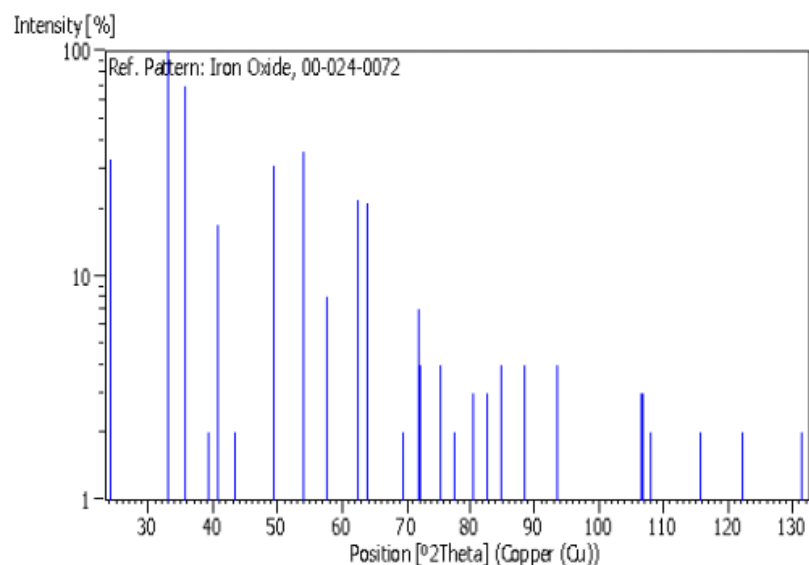
Chemical formula:

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.68600	24.125	33.0
2	1	0	4	2.70300	33.115	100.0
3	1	1	0	2.51900	35.612	70.0
4	0	0	6	2.29500	39.223	2.0
5	1	1	3	2.20800	40.836	17.0
6	2	0	2	2.08000	43.473	2.0
7	0	2	4	1.84280	49.417	31.0
8	1	1	6	1.69660	54.005	36.0
9	1	2	2	1.60130	57.508	8.0
10	0	1	8	1.60130	57.508	8.0
11	2	1	4	1.48730	62.385	22.0
12	3	0	0	1.45430	63.966	21.0

## Stick Pattern



## **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Corrundum)**

Reference code: 00-001-1296

Mineral name: Corundum  
Compound name: Aluminum Oxide  
Common name:  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

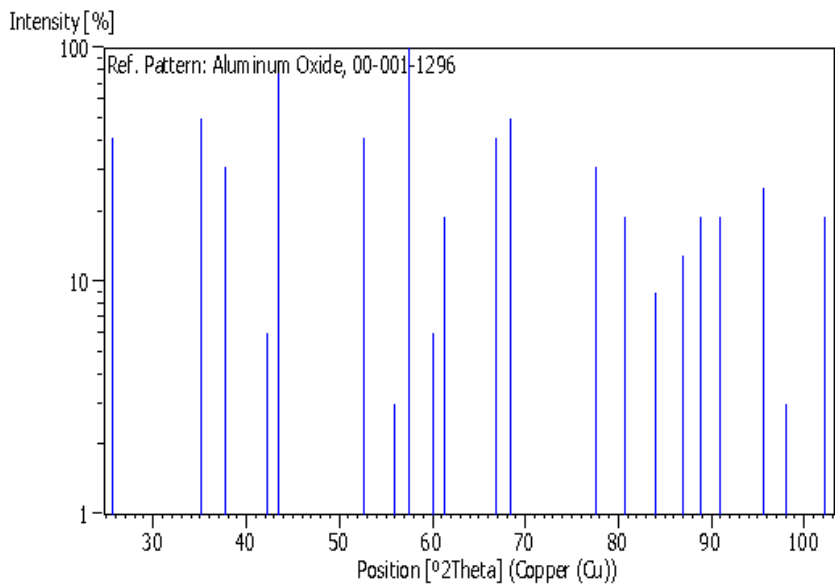
Empirical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Chemical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1				3.48000	25.577	41.0
2	1	1	0	2.55000	35.165	50.0
3				2.38000	37.768	31.0
4				2.14000	42.195	6.0
5	2	0	2	2.08000	43.473	84.0
6				1.74000	52.553	41.0
7	2	1	1	1.64000	56.029	3.0
8	1	2	2	1.60000	57.559	100.0
9				1.54000	60.026	6.0
10	2	1	4	1.51000	61.345	19.0
11	1	2	5	1.40000	66.763	41.0
12				1.37000	68.425	50.0
13	3	0	6	1.23000	77.549	31.0
14	3	1	2	1.19000	80.678	19.0
15	0	0	12	1.15000	84.107	9.0
16				1.12000	86.907	13.0
17	2	2	6	1.10000	88.898	19.0
18	0	4	2	1.08000	90.998	19.0
19	1	1	12	1.04000	95.578	25.0
20	1	3	7	1.02000	98.085	3.0
21	2	3	2	0.99000	102.170	19.0

### **Stick Pattern**



## **Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Si (Kyanite)**

Reference code: 00-002-1296

Mineral name: Kyanite

Compound name: Aluminum Silicate

Empirical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Si

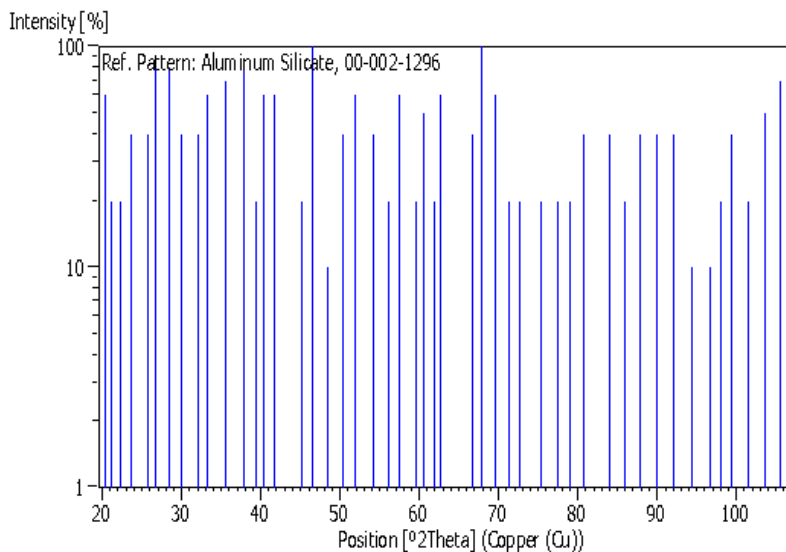
Chemical formula: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub>

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	0	4.35000	20.400	60.0
2	-1	1	1	4.20000	21.136	20.0
3	1	0	1	3.99000	22.263	20.0
4	1	-1	1	3.78000	23.517	40.0
5	2	-1	0	3.47000	25.652	40.0
6	2	0	0	3.33000	26.750	80.0
7	-2	0	1	3.14000	28.401	80.0

8	1	-2	1	2.99000	29.858	40.0
9	2	1	0	2.78000	32.173	40.0
10	2	-1	1	2.69000	33.280	60.0
11	0	1	2	2.52000	35.598	70.0
12	1	0	2	2.37000	37.934	80.0
13	-3	1	1	2.28000	39.492	20.0
14	3	0	0	2.23000	40.416	60.0
15	1	1	2	2.16000	41.786	60.0
16	3	-1	1	2.01000	45.068	20.0
17	3	-3	0	1.95000	46.535	100.0
29	-3	-2	3	1.38000	67.861	100.0

## **Stick Pattern**



## **CaCO<sub>3</sub> (Calcite)**

Reference code: 00-005-0586

Mineral name: Calcite, syn

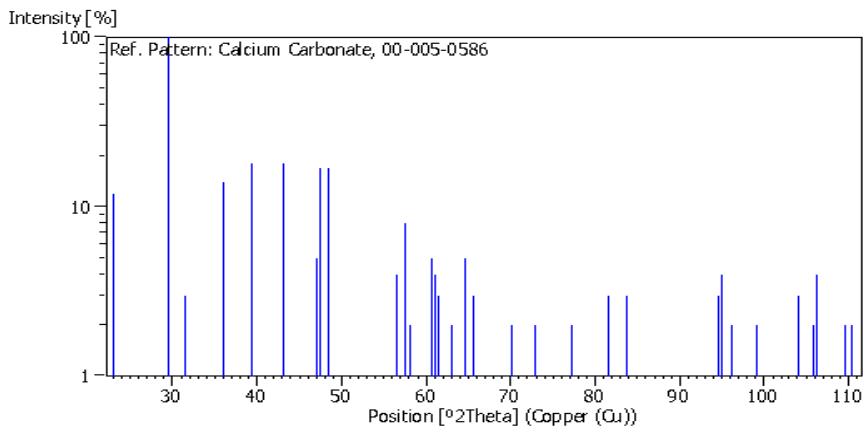
Compound name: Calcium Carbonate

Empirical formula:  $\text{CCaO}_3$   
Chemical formula:  $\text{CaCO}_3$

### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	1	2	3.86000	23.022	12.0
2	1	0	4	3.03500	29.406	100.0
3	0	0	6	2.84500	31.418	3.0
4	1	1	0	2.49500	35.966	14.0
5	1	1	3	2.28500	39.402	18.0
6	2	0	2	2.09500	43.146	18.0
7	0	2	4	1.92700	47.124	5.0
8	0	1	8	1.91300	47.490	17.0
9	1	1	6	1.87500	48.514	17.0
10	2	1	1	1.62600	56.555	4.0

### **Stick Pattern**

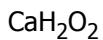


### **Ca(OH)<sub>2</sub> (Portlandite)**

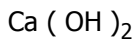
Reference code: 00-001-1079

Mineral name: Portlandite  
Compound name: Calcium Hydroxide

Empirical formula:



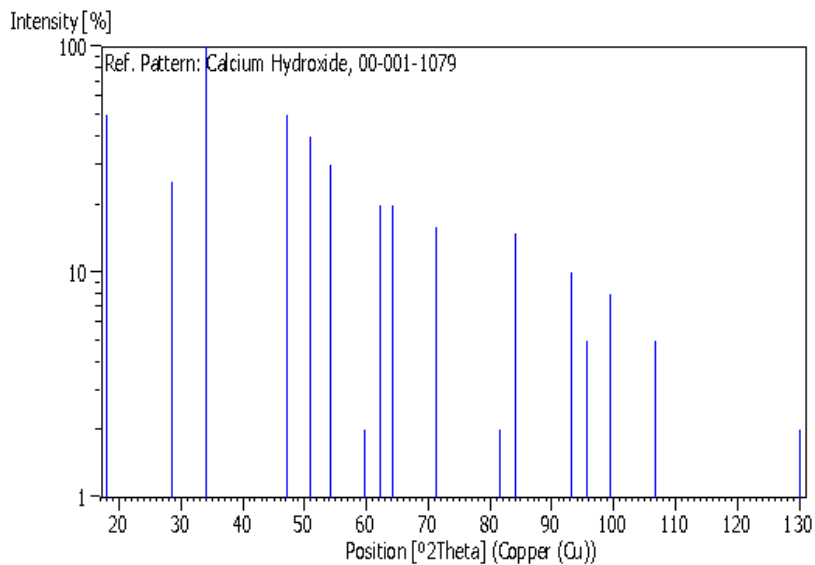
Chemical formula:



## **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	0	0	1	4.93000	17.978	50.0
2	1	0	0	3.11000	28.681	25.0
3	1	0	1	2.63000	34.062	100.0
4	1	0	2	1.93000	47.046	50.0
5	1	1	0	1.79000	50.978	40.0
6	1	1	1	1.69000	54.233	30.0
7	2	0	0	1.55000	59.599	2.0
8	2	0	1	1.49000	62.260	20.0
9	1	0	3	1.45000	64.179	20.0

## **Stick Pattern**





## NaCl (Halite)

Reference code: 00-005-0628

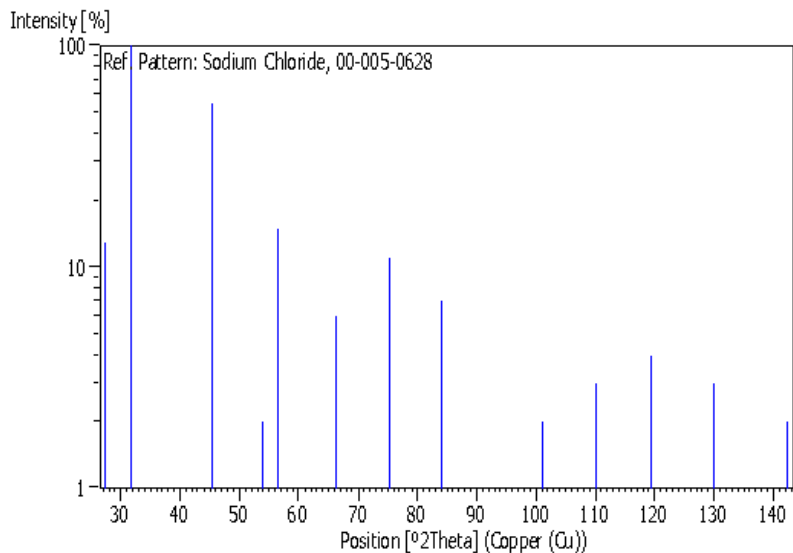
Mineral name: Halite, syn  
Compound name: Sodium Chloride

Empirical formula: ClNa  
Chemical formula: NaCl

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I[%]
1	1	1	1	3.26000	27.335	13.0
2	2	0	0	2.82100	31.693	100.0
3	2	2	0	1.99400	45.450	55.0
4	3	1	1	1.70100	53.854	2.0
5	2	2	2	1.62800	56.479	15.0

## Stick Pattern



# Lampiran C (Hasil Uji EDX)

## Hasil Uji EDX Pasir Besi



LABORATORIUM PENGOLAHAN MINERAL DAN MATERIAL  
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
Telp. (031) 5943645, 081232092373, Email : sungging@mat-eng.its.ac.id

Surabaya, 22 September 2016

No : 09/LTPMM/IX/2016  
Hal : Laporan Hasil Pengujian SEM-EDX  
Lampiran : -

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Berdasarkan permohonan pengujian yang diberikan, maka telah dilakukan pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) - Electron Dispersive X-Ray (EDX) untuk sampel pasir besi Sukabumi. Berikut ini ialah hasil pengujian dan analisa uji SEM dan EDX tersebut.



**Gambar 1.** Hasil pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) sampel pasir besi Sukabumi

**Tabel 1.** Hasil Pengujian EDX Pasir Besi Sukabumi

No	Element	Wt%	At%
1	O	24.44	49.59
2	Mg	2.72	3.64
3	Al	2.66	3.20
4	Si	3.14	3.63
5	Ca	0.65	0.53
6	Ti	8.46	5.73
7	Fe	56.93	33.68

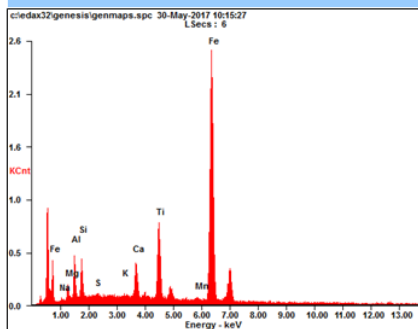
# Hasil Uji EDX Briket CMC

## Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

5/30/2017



Element	Wt%	At%
NaK	00.66	01.38
MgK	02.46	04.83
AlK	04.87	08.60
SiK	04.04	06.86
SK	00.35	00.52
KK	00.35	00.42
CaK	03.75	04.46
TiK	11.02	10.98
MnK	00.91	00.79
FeK	71.60	61.16
Matrix	Correction	ZAF

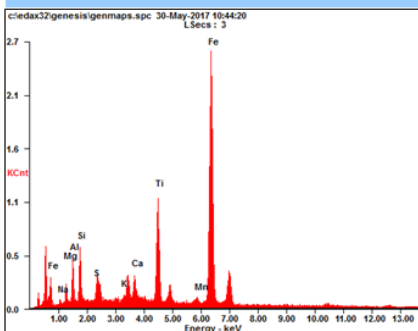
# Hasil Uji EDX Briket Bentonit

## Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

5/30/2017



Element	Wt%	At%
NaK	00.86	01.75
MgK	02.61	05.06
AlK	04.28	07.47
SiK	04.95	08.30
SK	01.35	01.98
KK	00.45	00.54
CaK	02.51	02.95
TiK	13.73	13.51
MnK	01.39	01.19
FeK	67.88	57.25
Matrix	Correction	ZAF

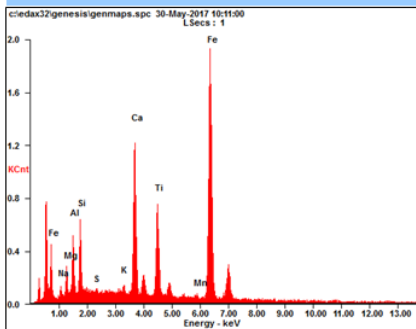
# Hasil Uji EDX Briket Ca(OH)<sub>2</sub>

## Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

5/30/2017



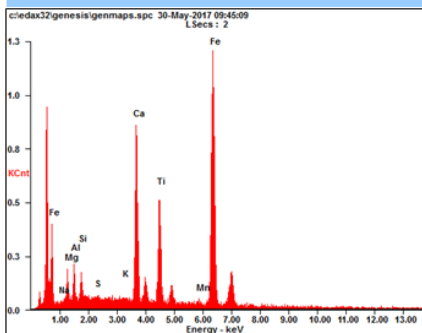
Element	Wt%	At%
NaK	01.72	03.33
MgK	02.97	05.44
AlK	05.39	08.91
SiK	05.75	09.13
SK	00.20	00.28
KK	00.72	00.82
CaK	13.36	14.85
TiK	11.14	10.37
MnK	00.83	00.67
FeK	57.91	46.20
Matrix	Correction	ZAF

## Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

5/30/2017



Element	Wt%	At%
NaK	00.26	00.53
MgK	03.24	06.28
AlK	02.93	05.13
SiK	02.46	04.12
SK	00.13	00.20
KK	00.25	00.30
CaK	14.98	17.63
TiK	13.04	12.84
MnK	00.87	00.75
FeK	61.84	52.23
Matrix	Correction	ZAF

# Hasil Uji XRF Batu Kapur

Date: October 2014

PT. ASIA RESOURCES SEJAHTERA

Issuing Office  
Room 610, 6/F, Plaza BRI  
Jl. Bendito Rahmat No. 122 Surabaya 60271

## REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : MATERIAL & METALLURGICAL ITS

THE FOLLOWING SAMPLE (S) WAS/WERE SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS:

TYPE OF SAMPLE : BATU KAPUR  
DATE OF RECEIVED : October 16, 2014  
DATE OF ANALYSIS : October 17, 2014  
DESCRIPTION SAMPLE :  
FORM : powder  
Weight / Volume : < 1 kg  
Packing : unsealed plastic bag  
SAMPLE IDENTIFICATION :  
(STATED BY CLIENT) : Codes : limestone #1

We have tested the sample (s) submitted and the following results were obtained:

No.	Parameter	Unit	Test Result	Test Method
1.	Calcium (Ca)	% wt	18,382	X - Ray Fluorescence
2.	Magnesium (Mg)	% wt	13,742	X - Ray Fluorescence
3.	Silicon (Si)	% wt	0,546	X - Ray Fluorescence
4.	Iron (Fe)	% wt	0,072	X - Ray Fluorescence
5.	Sulfur (S)	% wt	0,041	X - Ray Fluorescence
6.	Aluminium (Al)	% wt	0,004	X - Ray Fluorescence
7.	Zincum (Zn)	% wt	0,0007	X - Ray Fluorescence

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.asiaresources.com](http://www.asiaresources.com)

Signature: 

A. S. Saadathani

## Lampiran D (Hasil Uji Proximate Analysis Batubara)

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : M. Rifqi Mahendra  
 Alamat Pemilik : T.Material & Metalurgi ITS  
 Nama Contoh : **Batubara** Tanggal Terima : 15 Ags 2016  
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 22 Ags 2016  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai :  
 Kemasan : Plastik Pengujian : 13 Sep 2016  
 Kode Contoh : **EI-0513** Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

#### Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Batubara	Total Moisture	4,17	%Ar	ASTM D 3302-15
		Moisture in Sample	3,30	%Adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	10,30		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	42,08		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	44,32		ASTM D 3172-13
		Kalori	6706	Cal/gr	Bomb kalorimeter
		HGI	28	-	ASTM D 409-11

Suhu : 20,3 °C  
 Humidity : 48 %  
 Analis : MBB

#### Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,  
 Manajer Teknis



Vita Yuliana, S.Si  
 NIP. 914014001

## Lampiran E (Hasil Uji Derajat Metalisasi)

Variabel	Fe Total (%)	Berat Sampel (gram)	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (ml)	Fe (M)	Fe (T)	% Metalis asi
Binder CMC	71.6	1	315	0.587 12	0.7 16	82
Binder Bentonit	67,88	1	300	0.558 6	0.6 788	82,3
Binder Ca(OH) <sub>2</sub>	59,875	1	260	0.465 59	0.5 987	80,4
Binder Kanji	75,86	1	335	0,623 5	0,7 586	82,2

## Lampiran F (Derajat Reduksi)

### Perhitungan derajat reduksi

- ❖ Perhitungan Berdasarkan Hasil EDX
- ❖ Massa awal yang digunakan adalah massa awal tanpa binder dan moisture setelah proses pengeringan.
- ❖ Massa akhir adalah massa Briket pada akhir proses reduksi
- ❖ Binder Kanji dan CMC hilang selama proses reduksi
- ❖ Binder Bentonit mengalami pengurangan massa sebanyak 20% selama proses
- ❖ Binder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mengalami pengurangan massa sebanyak 27% selama proses
- ❖ Campuran binder dan pasir besi diasumsikan homogen
- ❖ Pengurangan Massa sebelum dan sesudah reduksi dianggap sebagai jumlah oksigen yang lepas dari besi oksida

### • Perhitungan Kadar Oksigen Awal

#### Hasil EDX Pasir Besi

Parameter	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
%Wt	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

### 1. Persentase Senyawa Oksida non Fe

$$\begin{aligned}\text{a. } \% \text{Al}_2\text{O}_3 &= \frac{Mr \text{ Al}_2\text{O}_3}{2Ar \text{ Al}} \times \% \text{Al} \\ &= \frac{102}{54} \times 2,66\% \\ &= 5,024\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } \% \text{MgO} &= \frac{Mr \text{ MgO}}{Mg} \times \% \text{Mg} \\ &= \frac{40}{24} \times 2,72\% \\ &= 4,53\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. } \% \text{TiO}_2 &= \frac{Mr \text{ TiO}_2}{Ar \text{ Ti}} \times \% \text{Ti} \\ &= \frac{80}{48} \times \% \text{Ti} \\ &= 14,1\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d. } \% \text{SiO}_2 &= \frac{Mr \text{ SiO}_2}{Ar \text{ Si}} \times \% \text{Si} \\ &= \frac{60}{28} \times \% \text{Si} \\ &= 6,73\%\end{aligned}$$

### 2. Persentase Oksigen di Dalam Senyawa Oksida non Fe



$$\begin{aligned}\text{a. O dalam Al}_2\text{O}_3 &= \frac{3ArO}{Mr Al_2O_3} \times \%Al_2O_3 \\ &= \frac{48}{102} \times 5,024\% \\ &= 2,36\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. O dalam MgO} &= \frac{Ar O}{Mr MgO} \times \%MgO \\ &= \frac{16}{40} \times 4,53\% \\ &= 1,812\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. O dalam TiO}_2 &= \frac{2Ar O}{Mr TiO_2} \times \%TiO_2 \\ &= \frac{32}{80} \times 14,1\% \\ &= 5,64\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d. O dalam SiO}_2 &= \frac{2Ar O}{Mr SiO_2} \times \%SiO_2 \\ &= \frac{60}{28} \times 3,6\% \\ &= 3,6\%\end{aligned}$$

Total Oksigen di dalam Oksida non Fe :

$$2,36\% + 5,64\% + 1,812\% + 3,6\% = 13,412\%$$

Maka Oksigen di dalam Oksida Besi adalah :

**Oksigen total Pasir besi – Oksigen dalam oksida non Fe =**

$$24,4\% - 13,412\% = 10,988\%$$

- **Perhitungan Pengurangan Massa Binder**

**a. Briket Kanji**

- Massa 4 Briket Pasir besi + binder = 180 gram
- Dosis binder = 5%

Maka massa binder di dalam briket adalah :

$$180 \times 5\% = 9 \text{ gram} = 2,25 \text{ gram/briket}$$

**1. Pengurangan Massa binder saat proses pengeringan**

**Sebelum Pengeringan :**

Massa kanji non air = 9 gram

Massa kanji + air = 50 gram

**Setelah Pengeringan 115 °C selama 3 jam :**

Massa Kanji = 15 gram (10 gram kanji + 5 gram moisture)

Maka Massa Awal Briket Kanji adalah :

$$= 180 \text{ gr} - (5\% \times 180) - \text{Moisture}$$

$$= 180 \text{ gr} - 9 \text{ gr} - 5 \text{ gr}$$

$$= 166 \text{ gr}$$

$$= 41,5 \text{ gr/briket}$$

Massa Akhir rata-rata briket kanji setelah reduksi = 37,5 gr/briket

$$\text{Maka } \Delta m \text{ briket kanji} = 41,5 - 37,5 = 4$$

Jumlah Oksigen awal briket kanji adalah :

$$= 10,988\% \times \text{Massa Awal}$$

$$= 10,988\% \times 166 \text{ gr}$$

$$= 18,24 \text{ gram}$$

$$= 4,56 \text{ gram /briket}$$

**Maka Derajat Reduksi Briket Kanji adalah :**

$$\%R = \frac{\Delta m}{O \text{ awal}} = \frac{4}{4,56} = 87,72 \%$$

**b. Briket CMC**

➤ Massa 4 Briket Pasir besi + binder = 185 gram

➤ Dosis binder = 5%

Maka massa binder di dalam briket adalah :

$$185 \times 5\% = 9,25 \text{ gram} = 2,3125 \text{ gram/briket}$$

1. Pengurangan Massa binder saat proses pengeringan

**Sebelum Pengeringan :**

Massa CMC non air = 9,25 gram

Massa CMC + air = 28,675 gram

**Setelah Pengeringan 115 °C selama 2 jam :**

Massa CMC = 20,35 gram (9,25 gram CMC + 11,1 gram moisture)

Maka Massa Awal Briket CMC adalah :

$$= 185 \text{ gr} - (5\% \times 185) - \text{Moisture}$$

$$\begin{aligned}
 &= 185 \text{ gr} - 9,25 \text{ gr} - 11,1 \text{ gr} \\
 &= 164,65 \text{ gr} \\
 &= 41,1625 \text{ gr/briket}
 \end{aligned}$$

Massa Akhir rata-rata briket CMC setelah reduksi = 37,25 gr/briket  
Maka  $\Delta m$  briket CMC =  $41,1625 - 37,25 = 3,9125$  gram

Jumlah Oksigen awal briket CMC adalah :

$$\begin{aligned}
 &= 10,988\% \times \text{Massa Awal} \\
 &= 10,988\% \times 164,65 \text{ gr} \\
 &= 18,0917 \text{ gram} \\
 &= 4,522 \text{ gram /briket}
 \end{aligned}$$

**Maka Derajat Reduksi Briket CMC adalah :**

$$\%R = \frac{\Delta m}{O \text{ awal}} = \frac{3,9125}{4,522} = 86,52 \%$$

### c. Briket Bentonit

- Massa 4 Briket Pasir besi + binder = 185 gram
- Dosis binder = 5%

Maka massa binder di dalam briket adalah :  
 $185 \times 5\% = 9,25 \text{ gram} = 2,3125 \text{ gram/briket}$

#### 1. Pengurangan Massa binder saat proses pengeringan

##### **Sebelum Pengeringan :**

Massa Bentonit non air = 9,25 gram  
Massa Bentonit + air = 27,75 gram

##### **Setelah Pengeringan 150 °C selama 2 jam :**

Massa Bentonit = 10,25 gram (9,25 gram Bentonit + 1 gram moisture)

Maka Massa Awal Briket bentonit adalah :

$$\begin{aligned}
 &= 185 \text{ gr} - (5\% \times 185) - \text{Moisture} \\
 &= 185,75 \text{ gr} - 9,25 \text{ gr} - 1 \text{ gr} \\
 &= 174,75 \text{ gr} \\
 &= 43,6875 \text{ gr/briket}
 \end{aligned}$$

Massa Akhir rata-rata briket Bentonit setelah reduksi = 41,5 gr/briket  
 Diketahui Pengurangan Massa Bentonit Pada 1300 °C adalah 20%,  
 maka massa akhir briket non binder adalah :  
 $= 166 - (9,25 - (20\% \times 9,25)) = 158,6 \text{ gram} = 39,65 \text{ gram/briket}$

Maka  $\Delta m$  briket Bentonit = 43,6875-39,65 = 4,0375 gram

Jumlah Oksigen awal briket Bentonit adalah :  
 $= 10,988\% \times \text{Massa Awal}$   
 $= 10,988\% \times 174,75 \text{ gr}$   
 $= 19,2015 \text{ gram}$   
 $= 4,8 \text{ gram /briket}$

**Maka Derajat Reduksi Briket Bentonit adalah :**

$$\%R = \frac{\Delta m}{O \text{ awal}} = \frac{4,0375}{4,8} = 84,1 \%$$

### c. Briket $\text{Ca(OH)}_2$

- Massa 4 Briket Pasir besi + binder = 184 gram
- Dosis binder = 15%

Maka massa binder di dalam briket adalah :  
 $184 \times 15\% = 27,6 \text{ gram} = 6,9 \text{ gram/briket}$

#### 1. Pengurangan Massa binder saat proses pengeringan

##### **Sebelum Pengeringan :**

Massa non air = 27,6 gram  
 Massa  $\text{Ca(OH)}_2$  + air = 40,48 gram

##### **Setelah Pengeringan 100 °C selama 1 jam :**

Massa  $\text{Ca(OH)}_2$  = 30,85 gram (27,6 gram  $\text{Ca(OH)}_2$  + 3,25 gram moisture)

Maka Massa Awal Briket  $\text{Ca(OH)}_2$  adalah :

$$\begin{aligned} &= 184 \text{ gr} - (15\% \times 184) - \text{Moisture} \\ &= 184 \text{ gr} - 27,6 \text{ gr} - 3,25 \text{ gr} \\ &= 153,15 \text{ gr} \\ &= 38,2875 \text{ gr/briket} \end{aligned}$$

Massa Akhir rata-rata briket  $\text{Ca(OH)}_2$  setelah reduksi = 36,75 gr/briket

Diketahui Pengurangan Massa  $\text{Ca(OH)}_2$  Pada  $1300^\circ\text{C}$  adalah 27%, maka massa akhir briket non binder adalah :

$$= 166 - (27,6 - (27\% \times 27,6)) = 139,548 \text{ gram} = 34,887 \text{ gram/briket}$$

$$\text{Maka } \Delta m \text{ briket } \text{Ca(OH)}_2 = 38,2875 - 34,887 = 3,4 \text{ gram}$$

Jumlah Oksigen awal briket  $\text{Ca(OH)}_2$  adalah :

$$= 10,988\% \times \text{Massa Awal}$$

$$= 10,988\% \times 153,15 \text{ gr}$$

$$= 16,828 \text{ gram}$$

$$= 4,207 \text{ gram /briket}$$

**Maka Derajat Reduksi Briket  $\text{Ca(OH)}_2$  adalah :**

$$\%R = \frac{\Delta m}{O \text{ awal}} = \frac{3,4}{4,207} = 80,8 \%$$

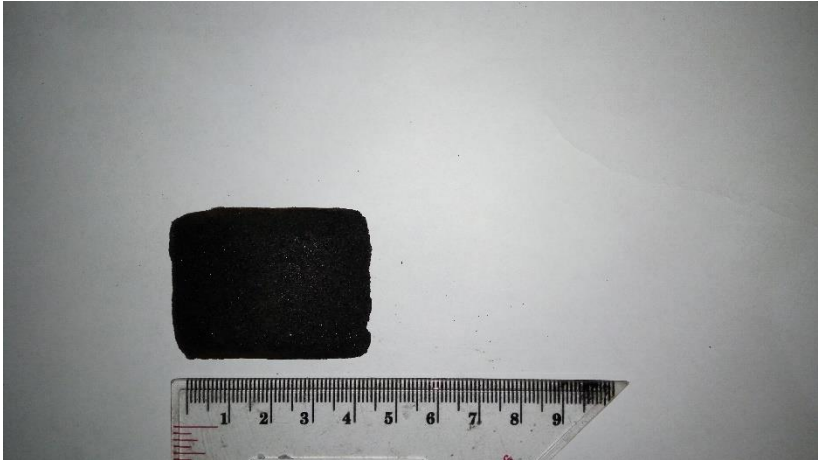
## Lampiran G (Dokumentasi Penelitian)



*Muffle furnace* ketika proses reduksi



Briket di dalam krusibel setelah akhir proses reduksi



Briket Berbinder CMC Sebelum Proses Reduksi



Briket Berbinder CMC Setelah Proses Reduksi



Briket Berbinder  $\text{Ca(OH)}_2$  Sebelum Proses Reduksi



Briket Berbinder  $\text{Ca(OH)}_2$  Setelah Proses Reduksi





Briquet Berbinder Bentonit Sebelum Proses Reduksi



Briquet Berbinder Bentonit Setelah Proses Reduksi



Aglomerat Metal Pada Briket CMC



Aglomerat Metal Pada Briket  $\text{Ca(OH)}_2$



Aglomerat Metal Pada Briket Bentonit

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan ,keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Kakak penulis Nurani Pertiwi Ekaputri yang telah memberikan doa serta dukungan materil dan moril dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T selaku co dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu.
7. Ibu Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc Selaku dosen wali yang sangat mengayomi
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Sahabat-sahabat futsal saya Dwiki, Yudhis, Asad, Fadli, Fikri, Tanyo, Naufal, Afza, dan Indra yang selalu mengajak saya futsal rutin agar kesehatan fisik saya terjaga.
10. Sahabat-sahabat Top Player, Badi, Mustapid, dan Oka yang selalu mengajak saya bermain game untuk mengusir kepenatan dalam mengerjakan tugas akhir.
11. Sahabat-sahabat Dewo 19 Ihsan, Thoriq, Agra, Edwar, Hanip, dan Aris yang selalu memberikan canda tawa baik suka maupun duka
12. Teman-teman Lab. Pengolahan Material yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya kepada Kemplo, Wasik, Hamzah, Rizki, Narindra, Annisa, Farid, Adin, Ridwan, Bima. Serta Senior saya Mas-mas

MT14 yang telah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya

13. Rekan-rekan Lab. Kimia Material, Pak Hanif, Mbak Yeni, Anggun, Alit dan Bani yang telah membantu saya dalam pengujian derajat metalisasi
14. Keluarga MT15 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
15. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Bandung, 13 Juli 1995, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Atikan, SDN Karang Pawulang, kemudian SMP Negeri 14 Bandung dan SMA Swasta Alfa Centauri Bandung. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 2713100092. Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Metalurgi Ekstraksi. Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa dan menjadi kepala Departemen Hubungan Masyarakat di Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Haabul Kahfi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD dan LKMM TD pernah diikuti oleh penulis. Penulis dapat dihubungi di 085314814004 atau email ke [fiqrisanubari@gmail.com](mailto:fiqrisanubari@gmail.com).

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*